

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Hygroskopicita hliněných malt a její vliv
na pevnostní charakteristiky**

**Hygroscopicity of clay mortars and its influence
on the strength characteristics**

Student:

Jakub Hapl

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Murínová

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Hapl

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Hygroskopicita hliněných malt a její vliv na pevnostní charakteristiky
Hygroscopicity of clay mortars and its influence on the strength
characteristics

Zásady pro vypracování:

Nepálená hlína zejména ve formě zdících malt a omítek zažívá v současné době svou renesanci. To proto, že u tohoto materiálu nacházíme schopnost akumulovat teplo a propouštět vodní páru. První část závěrečné práce (teoretická) bude pojednávat o charakteristice výrobků z nepálené hlíny, historii využití tohoto materiálu, současném sortimentu používaných produktů a jejich vlastností se zaměřením na hliněné malty a omítky. V druhé části (praktické) budou experimentálně stanoveny vybrané pevnostní a vlhkostní vlastnosti komerčně vyráběných hliněných malt a omítek v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu a teplotě prostředí.

Seznam doporučené odborné literatury:

Kolektiv autorů – Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. díl, Praha: Idea servis, 2008, ISBN 978-80-85970-62-3

Žabičková, I.: Hliněné stavby, Brno: ERA 21, 2002, ISBN 80-86517-21-7

ČSN EN 1015-2 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt (2007)

ČSN EN 1015-3 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (2007)

ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (2007)

ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty (2007)

ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku (2007)

ČSN EN 1015-19 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 19: Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky (2007)

ČSN EN 998-2 Specifikace malt pro zdivo - Část 2: Malta pro zdění (2011)

ČSN EN 998-1 Specifikace malt pro zdivo - Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky (2011)

ČSN EN ISO 12570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě (2014)

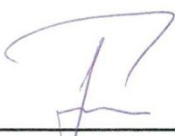
ČSN EN ISO 12571 Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností (2011)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

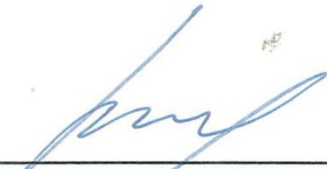
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Murínová**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014



Ing. Libor Žídek
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

Podpis student

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.-autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o možné změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Anotace

Nepálené hliněné produkty především omítky a malty se koncem 20. století opět navrací na stavební trh. Přestože všechny staré normy spjaté s hlínou jsou již neplatné a žádné nové právní předpisy se nevytváří, zažívá tento materiál v současné době svou renesanci. Jeho využití má úplně jiné priority než v minulosti, kdy se z nepálené hlíny stavělo především z důvodu nedostatku stavebního materiálu. Nyní se hliněné výrobky používají hlavně díky jeho dobrým tepelně technickým jako je např. schopnost akumulovat teplo, regulovat okolní vlhkost vzduchu (vlivem rychlé absorpce a desorpce vlhkosti v materiálu) a spoustě jiných výhodných vlastností.

Tato bakalářská práce se zabývá právě časovým nárůstem vlhkosti hliněných omítek a určením jejich konečných pevností v různých klimatických prostředích.

Klíčová slova

Hlína, nepálená hlína, omítky a malty, vlhkost, pevnost

Annotation

Unfired clay products, mainly mortars, again return to the construction market at the end of the 20th century. Although all the old standards related to earthen materials are not valid and new legislation is not created, this material is currently undergoing by revival. Its utilization has completely different priorities than in the past when the unfired clay was used due to the lack of building materials. Now earthen products are mainly used because of its good thermal - technical characteristics such as ability to accumulate heat, regulate the surrounding humidity (influence of rapid absorption and desorption of material moisture) and many other advantageous properties.

This bachelor work just deals with the moisture gradation of earthen plasters over time and determining their final strength in various climatic environments.

Keywords

Clay, unfired clay , plaster and mortar , moisture , strength

Obsah

1	ÚVOD	8
2	HLÍNA	9
2.1	DEFINICE HLÍNY	9
2.2	HISTORIE A VYUŽITÍ NEPÁLENÉ HLÍNY	12
2.2.1	<i>Písemně zaznamenané nebo zachovalé stavby z hlíny ve světě</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Stavby z hlíny v České republice</i>	<i>15</i>
2.3	TĚŽBA HLÍNY	16
2.4	TRADIČNÍ VÝROBKY Z NEPÁLENÉ HLÍNY	17
3	HLINĚNÉ OMÍTKY A MALTY	19
3.1	PŘÍSADY A PŘÍMĚSI HLINĚNÝCH OMÍTEK	22
3.2	VLASTNOSTI NEPÁLENÉ HLÍNY	25
3.3	ZKOUŠENÍ A ZPRACOVÁNÍ HLÍNY	26
3.4	SOUČASNÝ SORTIMENT HLINĚNÝCH PRODUKTŮ	27
4	VLHKOSTNÍ PROBLEMATIKA HLINĚNÝCH MATERIÁLŮ	28
4.1	ZÁKLADNÍ DEFINICE VLHKOSTI	28
4.2	ZPŮSOBY VNIKÁNÍ VODY DO KONSTRUKCÍ	30
4.2.1	<i>Vlivy vlhkosti a klimatických podmínek.....</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Vliv vlhkosti na vlastnosti hliněných malt</i>	<i>34</i>
4.3	STANOVENÍ HODNOT VLHKOSTI.....	35
4.3.1	<i>Metody zkoušení vlhkosti.....</i>	<i>35</i>
4.3.2	<i>Měření vlhkosti materiálů v závislosti na charakteru prostředí</i>	<i>37</i>
4.3.3	<i>Vyjádření vlhkosti.....</i>	<i>39</i>
5	STANOVENÍ PEVNOSTNÍCH CHARAKTERISTIK	40
6	PRAKTICKÁ ČÁST	43
6.1	POUŽITÉ MATERIÁLY	43
6.2	POUŽITÉ ZKOUŠKY DLE PLATNÝCH NOREM.....	44
6.2.1	<i>Příprava a zkoušení čerstvých malt.....</i>	<i>44</i>
6.2.2	<i>Zkoušení zatvrdlých malt.....</i>	<i>47</i>
6.3	VÝSLEDKY	50
6.3.1	<i>Příprava čerstvých hliněných malt</i>	<i>50</i>
6.3.2	<i>Zkoušky prováděné na hliněných trámečcích</i>	<i>52</i>
7	ZÁVĚR	67
8	PODĚKOVÁNÍ.....	68
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
10	PŘÍLOHY	72

Seznam použitého značení

A	Plocha
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
F_c	Zatěžující síla pevnosti v tlaku [N]
F_f	Zatěžující síla pevnosti v tahu za ohybu [N]
ISO	Mezinárodní norma
R_c	Pevnost v tlaku [N/mm ²]
R_f	Pevnost tahu za ohybu [N/mm ²]
V	Objem [m ³]
atd.	A tak dále
apod.	A podobně
b	Šířka trámečku [mm]
cca	Přibližně (z latinského circa)
h	Výška trámečku [mm]
kol.	Kolektiv
l	Vzdálenost mezi podporami [mm]
m	Hmotnost vzorku [kg]
m_0	Hmotnost vysušeného vzorku [kg]
např.	Například
tzv.	Tak zvaný
obr.	Obrázek
u	Hmotnostní vlhkost [%]
viz.	Lze vidět (z latinského videlicet)
w	Vlhkost prostředí [%] Vlhkost vzorku [%]

ψ	Objemová vlhkost [-]
ρ	Objemová hmotnost čerstvé malty [kg/m ³]
ρ_0	Objemová hmotnost vysušeného vzorku [kg/m ³]
ρ_w	Objemová hmotnost zvlhčeného vzorku [kg/m ³]

1 ÚVOD

Hlína byla používána od prvopočátku stavitelství výstavby obydlí, kdy sloužila jako utěšňující surovina, jejíž pomocí se zakrývaly spáry mezi kameny či proutím. V současnosti se lidé zaměřují na ekonomický, ekologický a zdravý způsob bydlení. Všechny tyto vlastnosti splňuje materiál z nepálené hlíny, který se do stavebnictví pomalu, ale jistě opět navrácí. Navíc hlína je běžně dostupná přírodní surovina.

Mezi nejvíce používané produkty z nepálené hlíny patří hliněné omítky a malty, které se aplikují u starých i nových (moderních) staveb. Tyto výrobky jsou nanášeny zpravidla do interiérů budov, protože v přímém kontaktu s vodou se jejich částice vyplavují a dochází k jejich rozmočení.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí (teoretické a praktické). V první části obsahuje teoretické informace o hlíně (definice, složení, historie, produkty), především jsou zde popsány hliněné malty a omítky. V této části je dále popsána vlhkost a pevnostní charakteristiky. Druhá, praktická část bakalářské práce se zaměřuje na použité materiály a jejich zkoušení, zejména na postupy vyrábění a testování vzorků, které se prováděly na hliněných omítkách firmy Picas. Konkrétně je u těchto vzorků sledován nárůst vlhkosti v různých klimatických podmínkách. Stanovuje se také vliv těchto vlhkostí na pevnosti v tahu a ohybu a pevnosti v tlaku.

2 Hlína

Hlína patří společně s kamenem a dřevem mezi nejstarší a běžně dostupné materiály používané k první výstavbě lidských obydlí. Využití hlíny má v současné době vzrůstající tendenci, využívá se jí především k výrobě hliněných omítek či malt nebo nepálených cihel. Hliněné suroviny jsou přítomny téměř na každém místě planety Země, proto není divu, že se dříve ve stavitelství hojně používaly. Ještě dnes bydlí ve stavbách z hlíny přibližně jedna třetina obyvatelstva a v rozvojových zemích vlivem nedostatku průmyslově vyráběných stavebních materiálů se dokonce jedná o více než polovinu populace [19].

2.1 Definice hlíny

Vznik hlíny je spojen se zvětráváním, transportem a usazováním vyvěřelých, metamorfovaných i sedimentárních hornin [24]. Zvětrávání probíhá hlavně mechanickým způsobem vlivem větru, vody, pohybu ledovců, změnami teplot a dalšími činiteli, které mají za následek rozrušování struktury s jejím následným rozpadem. V případě chemického zvětrávání dochází k rozpadu horniny nejčastěji reakcí s vzdušným kyslíkem nebo agresivními kapalinami [19]. Na rozdíl od jiných stavebních materiálů jako je např. cement nebo vápno, u hliněných produktů nevzniká při jejich zrání žádná chemická reakce či přeměna. Vlastnosti hlíny jsou závislé také na lokalitě těžby, což je způsobeno především různorodým minerálním složením zeminy.

Rozeznáváme různé druhy vzniku a uložení zemin [24]:

- **naplavené (aluviální) zeminy** - jde o jemnozrnné zeminy s nízkým podílem hrubé frakce, a jak už název napovídá, vznikají naplavením sedimentu v korytech tekoucích vod, jsou vhodné pro hliněné konstrukce;
- **reziduální (eluviální) zeminy** - primární zemina, která se nikam nepřemísťuje a se zvětšující se hloubkou nabývá na obsahu hrubé frakce, čímž tvoří pozvolný přechod z podloží k povrchu, taktéž je vhodná pro hliněné stavby;

- **svahové (deluviální) zeminy** - vznikají na svazích, kam se částice dostávají vlivem eroze, jednotlivé vrstvy jsou uloženy rovnoběžně se svahem a z důvodu častého vyplavování jemných částic vodou nejsou vhodné pro hliněné stavby;
- **jeskynní zeminy** - jedná se o usazené části účinkem krasových vod;
- **ledovcové (morénové) zeminy** - vznikly pohybem ledovců, jejich zrnitost je značně proměnná, obsahují i balvany;
- **naváté neboli aeolitické zeminy (spraše)** - pravděpodobně vznikly přemístěním primární zeminy, tato sprašová hlína je ze stavebního hlediska podstatně kvalitnější, používá se k cihlářské výrobě a je typická pro oblast jižní Moravy.

Terminologicky můžeme hlínu vnímat [24]:

- z geologického hlediska jako jemnozrnnou zeminu definovanou dle normy ČSN EN ISO 14688-1 [11], která je tvořena prachem a jílem;
- jako výraz používaný pro jakoukoliv zeminu nebo její směs použitou k výrobě nepáleného staviva, či pro výsledný výrobek (hliněná cihla, hliněné omítky/ malty,...).

Hlína se skládá ze směsí jílu, prachu a písku. Podle převažující složky máme hlíny jílové, prachové nebo písčité. Je-li podíl kterékoliv složky menší než 15%, je v pedologii definován jako „slabý“, naopak pokud je větší než 30%, je označován jako „silný“. Složky s podílem menším než 5% se do typu hlín nezačít. Hlína ovšem může také obsahovat i menší množství hrubších částic jako jsou např. šterky, suť, kameny, nebo organický materiál. Ve stavebnictví zeminu klasifikujeme podle velikosti zrn frakcí jednotlivých složek (viz. Tab. č. 1) dle normy ČSN EN ISO 14688-1 [11].

Tab. č. 1 Klasifikace zemin dle velikosti jejich frakce [11]

Surovina	Označení	Velikost frakce	Funkce
Jíl	Cl	(0 – 0,002) mm	Pojivá
Prach	Si	(0,002 – 0,063) mm	Plnicí
Písek	Sa	(0,063 – 2,0) mm	Plnicí
Šterk	Gr	(2,0 – 63,0) mm	Plnicí

Jíly jsou nejjemnozrnnější části zemin, s velikostí částic v řádu tisícín až desetitisícín mm, které mají tvary trubiček, šupinek nebo jehliček. Jíly vznikají zvětráváním především živců a jiných minerálů. Tyto části tvoří pojivou složku, která při větším množství negativně

ovlivňuje povrch hliněného výrobku tím, že při vyschnutí mohou vznikat trhliny. Z tohoto důvodu se ve stavebnictví používá hlína s vhodným podílem jílu (pojivo) a písku (plnivo). Obvykle je obsah jílu volen v poměru k písku 1:3. Jílové minerály jsou krystalické vodnaté hlinitokřemičitany. Jejich základními vrstvami krystalové mřížky jsou křemíkové tetraedry Si^{4+} a hliníkové oktaedry Al^{3+} (viz. Obr. č. 1), jež vytváří pravidelně se střídající seskupení [24].

	vrstva	schéma vrstvy
<p>● Si^{4+} ○ O^{2-}</p>	<p>tetraedry</p>	
<p>● Al^{3+} ○ OH^-</p>	<p>oktaedry</p>	

Obr. č. 1 Struktura křemíkového tetraedru a hliníkového oktaedru [24]

Podle těchto seskupení se rozdělují na jedno-, dvou-, troj- a vícevrstvé jílové minerály (viz. Obr. č. 2), které podle stavby mřížky dělíme na tři hlavní skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu [24].

kaolinit	illit	montmorillonit
<p>0,737 nm</p> <p>elementární (bazální) souvrství</p>	<p>1 nm</p> <p>vázaný K</p>	<p>1,25 - 2,15 nm</p>

Obr. č. 2 Uspořádání vrstev jílových minerálů [24]

Rozdílné vlastnosti hlíny jsou způsobeny zastoupením jednotlivých jílových minerálů [19, 15, 24]:

- Kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) je čistě bílý dvojvrstvý minerál, který vzniká zvětráváním alkalických živců. Jeho schopnost vázat hydratované kationty a molekuly vody je poměrně malá, proto při styku s vodou zůstává stabilní a nebobtná. Po vysušení není příliš pevný, ovšem prokazuje malé smrštění.
- Illit ($\text{nK}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$) někdy nazývaný také hydroslída, je trojvrstvý minerál vykazující větší plasticitu i schopnost vázat vodu i hydratované kationty než kaolinit. Cihlářské hlíny často obsahují právě illit.
- Montmorillonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$) je stejně jako illit trojvrstvý minerál. Kontakt mezi jednotlivými vrstvami je slabý a pružný. Z tohoto důvodu může poměrně hodně rozevírat jednotlivé vrstvy, což umožní příjem většího množství molekul vody (často až několikanásobně více než je hmotnost vysušeného jílu) i hydratovaných kationtů. Montmorillonitické jíly, často označované jako bentonity, jsou zastoupeny v cihlářských zeminách, díky nimž mají vyšší plasticitu.

Hlína použitá jako stavební materiál by neměla obsahovat velké množství montmorillonitu vzhledem k jeho bobtnání, ale naopak by měla mít větší množství illitu, který zlepšuje vaznost hliněných produktů [17].

2.2 Historie a využití nepálené hlíny

První zmínky o použití hlíny nalezneme již v pravěku, kdy si pravěcí lidé vyráběli z hlíny sošky a nechali si je v ohni vypálit např. „Věstonická Venuše“. Hlínu ale využívali i k zabezpečení obydlí (jeskyní), jejichž vchody zazdívali právě pomocí hlíny a kamenů [18]. Hlína sloužila převážně jako stavivo nenosných, výplňových částí staveb ve formě nepálených cihel, válků či mazaniny, ale v malé míře plnila i funkci statickou, nosnou prostřednictvím dusané hlíny. Jelikož se hliněné prvky ve styku s vodou rozpadnou a splyne opět se zemí, nelze při architektonickém průzkumu s přesností zjistit, zda se jedná o zbytky hliněné konstrukce nebo se jedná o nahromaděnou vrstvu zeminy. Proto historii hliněných stavebních konstrukcí odvíjíme hlavně z dochovaných staveb a písemných zpráv [24].

2.2.1 Písemně zaznamenané nebo zachovalé stavby z hlíny ve světě

Člověk využívá hlíny ve stavebnictví již přes 9000 let. Mezi nejstarší stavby z hlíny patří městský celek v Jerichu, jehož stěny jsou postavené z nepálených cihel na kamenném podloží. Stavba pochází z období kolem 8000 let př. n. l. Zmínky o aplikaci hlíny ve stavitelství nalézáme i v jiných starověkých civilizacích. V Mezopotánii byly z hliněných cihel stavěny nejen obytné budovy, ale také paláce, chrámy či svatyně [24]. Ve starém Egyptě poprvé využily hliněných kleneb a byly zde objeveny zbytky hliněných kvádrů z hrobu v mastabě staré 5000 let. Původní klenby z nepálených cihel můžeme najít i poblíž Kurny v Egyptě (viz. Obr. č. 3).



Obr. č. 3 Skladištní prostory zádušního chrámu Ramesse II [30]

Dále spousta historických měst, chrámů, kostelů a také slavná Babylonská věž i Velká Čínská zeď byly postaveny s použitím určitého množství hlíny. Znalosti dusané hlíny do bednění a nepálené cihly využívala civilizace Indu v období 2500 - 1800 př. n. l. [20]. V Číně se některé stavby opevňovaly z dusané hlíny a stavěly se ve vyhloubených sprašových hlínách jako podzemní hliněné domy. V jižní Číně v provincii Yonding stojí ještě dnes spousta domů z dusané hlíny (viz. Obr. č. 4). Jedná se o stavby staré více než 300 let, které byly stavěné do tvaru kruhu nebo čtverce o výšce 3 až 4 poschodí. Kapacita těchto budov je dimenzována až pro 600 osob. Tyto osoby tvoří převážně příslušníci menšinového národa Hakka [19].



Obr. č. 4 Budovy z dusané hlíny v jižní Číně v provincii Yonding [28]

V Řecku a Krétě se využívali nepálené cihly od šestého tisíciletí. O cihlách sušených na slunci se zmiňuje římský spisovatel Vitruvius ve svých Deseti knihách o architektuře. Tento autor vyzdvihuje takto vyrobené hliněné cihly, ale vzhledem k jejich malé únosnosti je nedoporučuje k výstavbě budov v hlavním městě. Podle římských předpisů se velmi dbalo na úsporu užitné plochy a doporučovaly se stěny silné maximálně do 1,5 stopy [24]. Hliněné nepálené cihly při této tloušťce unesly maximálně jedno poschodí.

V německém městě Weilburg an der Lahn stojí nejvyšší hliněný dům v Evropě (viz. Obr. č. 5). Jde o pětipatrový dům z roku 1828, jehož zdi jsou postaveny z dusané hlíny. Jejich tloušťka dosahuje ve spodní části až 750 mm a s každým patrem je zmenšena o 5 až 10 mm. V nejvyšším patře má nosná stěna šířku 400 mm [19].



Obr. č. 5 Nejvyšší dům v Evropě postavený z hlíny [29]

V roce 1867 vynalezl F. Hoffmann kruhovou pec pro efektivnější výpal cihel. Rozšířením kruhových pecí došlo v Evropě k masivní výrobě cihlářských výrobků, což snížilo jejich cenu a zvýšilo rozsah použití. Proto si pálené cihly mohli dovolit i méně majetní lidé. O konci používání hlíny jako staviva svědčí také stažení tohoto materiálu z norem a jejich neobnovení. Poptávka po nepálených cihlách klesala, až byla výstavba z tohoto materiálu roku 1914 zakázána.

Krátkého oživení se stavění z hlíny dočkalo po 2. světové válce, kdy byl nedostatek stavebního materiálu. Pro dosažení větší pevnosti se stavělo z hlinobetonu tzv. „hlinobitu“. Ovšem s příchodem moderních stavebních materiálů opět hlína upadá do ústraní a není dále rozvíjen ani výzkum tohoto materiálu se zaměřením na jeho použití ve stavbách. Přestože byla nepálená hlína ze stavebnictví vytlačena, zůstala námětem některých světových architektů jako byl Le Corbusier, Frank Lloyd Wright nebo Antonio Gaudí. Zvýšený zájem o nepálenou hlínu vyvolala v 70. letech minulého století moderní stavba letního sídla budoucího prezidenta USA R. Reagana vytvořená z hlíny [17]. Znovuobjevení a prosazování výrobků z nepálené hlíny nastává až počátkem 21. století. V dnešní době se hlína používá na stavbách především pro její příznivé vlastnosti, konkrétně zdravotní nezávadnost, schopnost regulovat vlhkost prostředí, atd.

2.2.2 Stavby z hlíny v České republice

První zmínky o využití hlíny jako staviva se u nás i v západní Evropě vztahují k 13. až 14. století. Hliněné stavby našly uplatnění jak u nízkopodlažních budov na venkově, tak i u vícepodlažních domů ve městech. Odolávaly ohni, a proto je bylo výhodné kombinovat se dřevem (různé vymazávky spár u roubenek, hlínou obalené dřevěné spoje, mazaniny, atd.). Pálené cihly byly příliš drahé a mohli si je dovolit jen movití občané, někteří vypalovanou keramiku využívali jako fasádní vrstvu na nechráněných štítech domů. Prostí lidé stavěli z nepálených cihel (sušených na slunci) nebo válků [20].

K většímu rozmachu masivních hliněných konstrukcí dochází na přelomu 16. a 17. století a to z důvodu častých požárů dřevostaveb, kterými byly zasaženy a zničeny celé vesnice a města. Proto roku 1751 vydává císařovna Marie Terezie tzv. „Ohňový patent“, protipožární a stavební nařízení, které přikazuje, aby byly kuchyně i komíny vyzděné a do roka byla každá

chalupa se zděným komínem. Roku 1819 byl vydán dvorní dekret, umožňující poddaným vyrábět na svých pozemcích cihly pro vlastní potřebu, ale i prodej. Tento předpis opět vede k větší výstavbě z hliněných materiálů. V roce 1833 byl vydán první stavební řád, který určoval veškeré podmínky stavby od podání stavební žádosti a tvorby plánů, přes úřední povolení až po realizaci a kolaudaci. Tím se dochovala řada dokumentací o provedených stavbách z hlíny [24].

Vynálezem kruhové pece (*viz. kapitola 2.2.1*), se výroba pálených cihel výrazně zefektivnila, vedla k jejich zlevnění. K rozšíření výroby přispěl dne 16. července 1914 vydaný zákon č. 39 – změna o doplnění brněnského stavebního řádu, v němž byla nepálená hlína ve stavbách úplně zakázána. Paradoxem je, že výrobou kruhových pecí používání nepálené hlíny končí a nyní, když dožívají kruhové pece, výroba z nepálené hlíny se znovu rozjíždí. Dnes se hlína používá hlavně ve formě hliněných omítek, malt, nepálených cihel či panelů a zřídka jako statický prvek ve formě dusané hlíny [17].

2.3 Těžba hlíny

Hlína se těží z podorníčních vrstev, to znamená z hloubek přibližně 40 cm a více pod zemským povrchem. Hlíny odebírané cca do 1,25 metru mohou mít organické příměsi a používají se pro léčebné účely např. v terraterapii [27]. Hlínu je ale možné těžit i z větších hloubek, např. až kolem 30 m. Právě v těchto hloubkách nalezneme hlíny téměř „sterilní“, bez jakýchkoliv organických složek [24]. Z tohoto důvodu někteří výrobci hliněných omítek přidávají k čisté hlíně různé byliny nebo části rostlin, jimiž tyto hliněné směsi obohacují, což může mít za následek pozitivní efekt z hlediska pohody bydlení (vůně, estetické parametry, apod.).

V minulosti se hlína odebírala z obecních hlinišť tzv. hliníků, jak se jim dříve říkalo [17]. Například v České republice na jižní Moravě se vyskytovaly na okrajích téměř každé vesnice či obce (*viz. Obr. č. 6*). U staveb domů z nepálené hlíny se dříve využívala skoro každá hlína, která se v dané lokalitě nacházela a případné nedostatky se upravovaly přísadami a příměsemi [24].



Obr. č. 6 Staré hliniště na okraji města Uherského Hradiště

K tomuto účelu se využívaly zeminy z různých výkopů základů a studní, které v některých případech vystačily i na výstavbu dvoupodlažního domu. Dalším zdrojem materiálu mohla být také hlína vybraná při čištění rybníků, příkopů či zarovnávání terénu apod.

Mezi další zdroje těžby hlíny můžeme řadit [24, 18]:

- odběr z výkopů prováděných přímo u domu, čímž ušetříme za materiál i jeho dopravu;
- staré cihelny s klasickou hnědou hlínou, která je vhodná téměř pro jakékoliv využití;
- pískovny, ve kterých se pere písek, tímto čištěním jsou odplavovány částičky jílu, čímž vznikají odpadní hlíny obsahující velké množství spráše;
- hlína ze skládek při terénních úpravách.

2.4 Tradiční výrobky z nepálené hlíny

Hlínu lze rozdělit podle tradičního stavebního použití na [17, 24]:

- Nepálené cihly – vyráběly se z hlíny a materiálů, které cihly vylehčovaly a zpevňovaly (sláma, plevy, zvířecí štětiny, proto se ujal název vepřovice). Používaly se pro výplňové i nosné konstrukce.
- Války – nebo-li krupejce, kochvaly nebo šulce sloužily k výstavbě vertikálních nosných i nenosných konstrukcí. Jsou to oválné bočníky zhruba o délce 300 mm a šířce 150 mm, které se vytvářely z povrchové hlíny a nařezané slámy. Války se nechávaly na den odležet a pak se kladly šikmo na sebe po vrstvách [23].

- Dusanou hlínu do bednění – nazývaná také nabíjenice, nabíjená hlína, pěchovanica, apod. Tento systém je založen na zpracování hlíny ve vlhkém stavu, která se hutní pomocí dusadel nebo mechanických pěchů do bednění po vrstvách tloušťky 100 až 200 mm. Vlivem hutnění nedochází k tak velkému smrštění. Stěny z dusané hlíny plní nosnou funkci a používají se i v dnešní době ke stavbě obydlí v rozvojových zemích.
- Vrstvená hlína, lepenice – je tradiční technika, která je založena na principu smíchání hlíny se slámou nebo plevami a vhodným množstvím vody (pro dosažení řidší konzistence, obdobné hnoji). Tento druh zpracování hlíny se používal pro menší hospodářské stavby. Směs se pod sklonem 30° až 40° vrstvila po obvodě domu pomocí vidlí bez bednění, a nebo se shora na zeď vrhaly hroudy směsi, tak až bylo dosaženo šířky stěny 450 – 600 mm a výšky cca 1 m. Poté se nechaly stěny přibližně na dva týdny vyschnout, následně se osekaly rýčem a začala se pokládat další vrstva.
- Hloubené konstrukce – tvoří vyhloubené prostory vodorovně či vertikálně směrem dolů do země (hlíny). U nás se používaly jako vinné sklepy, zemnice, sklípky, v zahraničí slouží také k obydlí.
- Omazávky a mazanice – jsou nenosné utěšňující výplně. Omazávky ,tzv. kožuch, se vyrábí například směsí hlíny a slámy, pomocí které se vytřely proutěné výplety. Tyto výrobky sloužily k ochraně dřevěných konstrukcí proti požáru. Z tohoto důvodu se omazávaly roubené stavby hliněnou vrstvou silnou až 150 mm a pro lepší přilnutí se do trámů zatloukaly dřevěné kolíky.
- Mazaniny – byly dříve oblíbenou úpravou povrchu podlah ve vesnickém prostředí, o čemž svědčí zmínka v dnes již neplatné normě ČSN 1168. Nevýhodou byla jejich náročná údržba a obnova. Mazanina byla složena z hlíny, nasekané slámy a z kravského lejna, které se do směsi přidávalo pro vyšší pevnost a odolnost proti otěru. Nanášela se ve vrstvách cca 60 mm a udusávala až do její redukce tloušťky na 2/3 původního rozměru.
- Omítky – využívají se běžně i v dnešní době. Jsou složeny z jílu, spraše, písku a dalších příměsí (řezanka, celulóza, konopí a další), pomocí kterých se vylehčují nebo zpevňují.

3 Hliněné omítky a malty

Hliněné omítky jsou považovány za nejstarší používané omítky. Podle pojiva, kterým je zpravidla jíl, se hliněné omítky řadí mezi vzdušná pojiva. Pro praktické použití ve stavebnictví se u hliněných malt požadují především tyto vlastnosti: vaznost pojiva (jílu), nízký obsah humusu a výkvětových solí. Hlavním plnivem je písek, který společně s pojivem udává pevnost, tvrdost a povrchovou strukturu omítek. Písek se získává z pískovců, křemenů nebo z dolomitických vápenců [14]. Písek se může nahradit zeolitem.

Veškeré omítkové malty se dělí podle pojiva na tři hlavní skupiny [14]:

- vzdušná pojiva – tuhnou a tvrdnou na vzduchu, při styku s vodou ztrácí pevnost (např. vápno, jíl, sádra);
- hydraulická pojiva – po počátečním zatuhnutí na vzduchu tvrdnou také pod vodou a odolávají jejím účinkům (cement, hydraulické vápno);
- organická pojiva – např. silikonové disperze, akrylátové disperze, atd.

Hliněné omítky a malty jsou tvořeny z tří hlavních složek: písku, prachu a jílu. Podíl jílu by však neměl být větší než 10%, neboť může dojít při vysoušení hliněné směsi ke vzniku trhlin. Optimální je 5 % zastoupení jílu ve směsi [19]. Některé, hlavně tedy po domácku vyrobené směsi, nemají požadované vlastnosti k trvalému využití, a hrozí u nich opadávání a drolení. Proto se do směsí přidávají různé přísady a příměsi, které tyto základní vlastnosti vylepší.

Hliněné omítky se dělí podle frakce písku na hrubé a jemné [17]:

- hrubé hliněné omítky - se zpravidla používají jako jádrové omítky, jejich frakce písku se pohybuje cca do 4 mm, důsledkem větších zrn písku vzniká více drobných trhlin, které neovlivňují statické parametry, ale naopak slouží k lepšímu propojení s finální (jemnou) omítkou, která tyto trhliny vyplní;
- jemné hliněné omítky - jsou používány jako finální vrstvy povrchu, velikost frakce písku je přibližně do 1,5 mm.

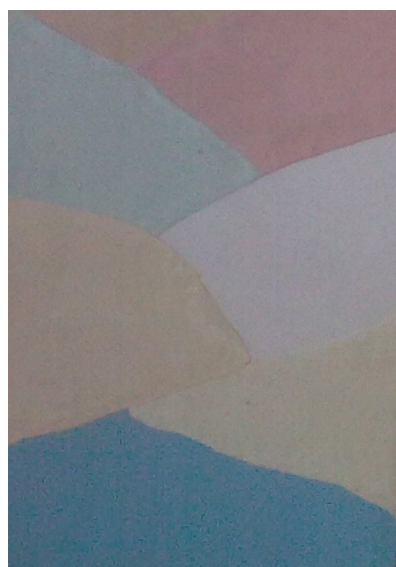
Hliněné omítky se používají zpravidla pro interiéry, ale v minulosti jsou záznamy i o vnějším použití omítky. Musel se však brát ohled na to, že venkovní klimatické podmínky působí

na hlinu nepříznivě a musí být proto opatřeny hydrofobními příměsemi a přísadami, ochrannými nátěry nebo být zakryté např. přístřešky.

Většinu produktů z hlíny dnes ve stavitelství tvoří právě hliněné omítky, které vytváří příjemné a zdravotně nezávadné klima. Lze je použít u starých, historických budov a zachovat tak jejich rustikální vzhled (*Obr. č. 7*), jenž je typický pro přírodní materiál, jako je hlína. Hliněné omítky však můžeme použít také u novostaveb a s jejich pomocí vytvářet moderní design (*Obr. č. 8*).



Obr. č. 7 Přírodní vzhled – štuková omítka



Obr. č. 8 Barevný moderní vzhled hliněných omítek

O hliněných maltách se píše ve staré prvorepublikové normě (ČSN 1168 – 1939: Provádění prací zednických a přidružených – část malty), která udává [24]: „*Hliněná malta se připravuje z hlíny a vody. Hlína nesmí obsahovati humusovité součásti a musí být dostatečně vazná (mastná). Malta z ní připravená nesmí po vyschnutí popraskat; nevyhovuje-li tomuto požadavku, musí se doplniti pískem nebo vhodnou hlínou. Přidání jiných výplní a vazných součástí (chlupů, slámy, krve, atd.) se musí předepsati.*“

Klasické hliněné omítky byly dříve vytvářeny pouze v typických hnědých barvách hlíny. Pokud se pak tyto omítky nanesly na všechny stěny místnosti, došlo ke ztmavení použitého prostoru. V dnešní době můžeme dosáhnout u hliněných omítek různých barev a odstínů vlivem barevnosti jílu a jiných složek omítky nebo za pomoci barevných pigmentů. Výrobci produkují omítky dokonce tak barevné, že je lze velmi těžko odlišit od klasických syntetických omítek (*viz. Obr. č. 9*).



Obr. č. 9 Barevná různorodost hliněných omítek

Proto se jejich povrch občas upravuje např. obtiskáváním rostlin, rýhováním (viz. Obr. č. 10) nebo od pradávna používaným těrkováním (viz. Obr. č. 11) [26], aby i nadále jejich vzhled působil přírodně.



Obr. 10 č. Zvýraznění povrchu omítek



Obr. č. 11 Těrkování omítek tzv. murlování [26]

Mezi povrchem stěny a hliněnou omítkou nedochází k žádné chemické vazbě. Omítka drží na podkladu vlivem mechanické adheze, proto velmi záleží na typu a drsnosti povrchu, na který se hliněná omítka nanáší. Čím je podklad drsnější a více nasákavý, tím vrstva hliněné omítky přilne k povrchu lépe a nehrozí tak nebezpečí odtržení. Nejlepší samozřejmě je, pokud

se omítka nanáší na hliněnou stěnu nebo panely. Problém ale není ani s jakýmkoliv jiným typem podkladu. Pomocí přilnavostního nátěru, který tvoří pouze hlína bez příměsí a voda, se docílí lepšího propojení s nanášenou vrstvou hliněné omítky [17]. V některých případech omítek ani toto řešení není úplně stoprocentní, a proto se na přilnavostní nátěr nanese minerální nebo jutová síťovina. Jutová tkanina nebo lépe působící minerální síťovina tzv. perlínka se v praxi používá na nejvíce kritická místa, jako jsou rohy a jiná zaoblení. Přichycením hliněné směsi na síť má omítka větší pevnost a lépe tak odolává trhlinám a odtržení.

3.1 Přísady a příměsi hliněných omítek

Přísady a příměsi se dělí na přírodní (nezávadné a společně s hlínou 100% recyklovatelné) a na umělé (jde o uměle vyrobené látky). Složky modifikující vlastnosti omítek mohou být dále rozděleny dle původu na organické (při vyšší vlhkosti nad 16 % vzniká riziko plísní a u vlhkosti nad 20 % hrozí růst hub) a anorganické. Podrobněji lze přísady a příměsi rozdělit podle jejich funkce (viz. Tab. č. 2) [14].

Tab. č. 2 Druhy přísad a příměsí ovlivňující hliněné omítky [14]

Druhy přísad a příměsí	Působení na omítku	Příklady přísad a příměsí
pigment, barvivo	obarvují hmotu	anorganické a organické pigmenty, např. hlinka
zpevňovače	zvyšují pevnost	polyuretany, silikony
platifikátory	zlepšují zpracovatelnost	celulóza, byliny
adheziva	zlepšují vaznost (lepivost) malty	akrylátová pryskyřice, epoxidy
hydrofobizátory	voděodolnost	mouka, kasein
urychlovače	urychlují tuhnutí a tvrdnutí	tvaroh, chlorid vápenatý, hydroxid barnatý

K nejběžnějším přírodním přísadám patří zejména [24]:

Sláma – v praxi označována jako řezanka, jelikož stébla slámy se nasekají, nařežou, nebo jiným způsobem zkrátí na délku cca 3 až 5 cm. Slouží v omítce jako rozptýlená výztuž, která zlepšuje soudržnost směsi. Využívá se také k vylehčení (snížení objemové hmotnosti) směsi a zvyšuje tepelněizolační vlastnosti. Je snadno dostupná, ale musí se udržovat v suchu, aby nevznikaly plísně.

Plevy a osiny – jedná se o odpad z obilí (slupky klásků a štětinovité výrůstky), které stejně jako sláma ovlivňují hliněné směsi. Na rozdíl od stébel slámy nevytváří tolik pórů a zvyšují pružnost, která je pozitivní vlastností zejména u hliněných omítek.

Celulóza (*Obr. č. 12*) – jde o část dřeviny, která se mimo jiné využívá na výrobu papíru. V hliněné směsi zlepšuje zpracovatelnost a vaznost.



Obr. č. 12 Celulóza

Pazdeří – je to dřevitá dužina, která je obsažena ve stoncích rostlin, jako je např. konopí (viz. *Obr. č. 13*) nebo len. Působí na hlínu obdobně jako dřevotřískový odpad. V České republice je využívání těchto složek do hliněných směsí na rozdíl od zahraničních zemí teprve v počátcích. Slouží k lepší zpracovatelnosti a vaznosti.



Obr. č. 13 Konopí

Exkrementy – u nás se do směsí používal převážně koňský a kravský hnůj, který působí v hlíně jako hydrofobizátor a redukuje vznik trhlin. V malé míře se do směsí přidávala koňská moč, která zpravidla pozitivně ovlivňuje hliněné směsi s obsaženým kaolínem. Hlavně tedy

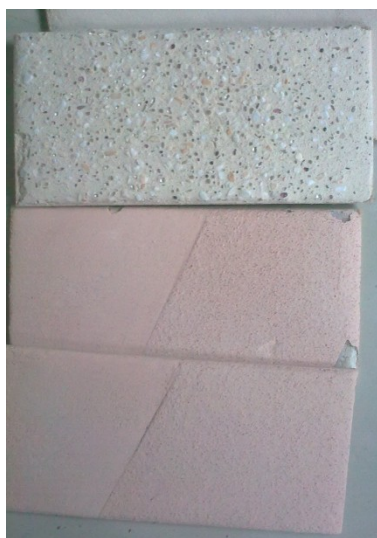
močovina ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$) a octan sodný ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$), které napomáhají zvýšit pevnost v tlaku a projevují se dokonce deseti až dvacetinásobným zvýšením pevnosti v ohybu [24].

Krev – využívala se hlavně čerstvá volská krev a to buď formou přísad, nebo jako nátěr. Zvyšovala vaznost a odolnost i vůči povětrnostním vlivům prostředí. Byla dokonce zmíněna ve starých normách o hlíně.

Zvířecí srst – do hliněných směsí se přidávala kromě srsti také vlna, chlupy a štětiny, které stejně jako sláma nebo tráva vytváří ve směsi rozptýlenou výztuž.

Uměle vyrobené příměsi jako **cement**, **vápno**, **sádra** a jiné se přidávaly převážně ke zvýšení větší pevnosti a odolnosti vůči nepříznivým vnějším vlivům. Další příměsi, jako např. **granulát z pěnového polystyrenu**, zase snižovaly objemovou hmotnost (vylehčovaly) hliněné směsi a zvyšovaly jejich tepelně izolační schopnost, ale za cenu snížení pevnosti. V současnosti se příliš živočišných ani uměle vytvořených surovin v hliněných směších nevyužívá.

Používají se i přísady jako je **barevné sklo či kamínky** (viz. Obr. č. 14), **ulity a lastury** (viz. Obr. č. 15) a jiné. Jejich záměrem není zlepšit vlastnosti hliněných omítek, ale přidávají se (z estetického důvodu) pro zlepšení povrchového vzhledu.



Obr. č. 14 Úprava povrchu barevnými skly a kamínky



Obr. č. 15 Úprava povrchu lasturami

3.2 Vlastnosti nepálené hlíny

Stejně jako ostatní materiály má také nepálená hlína určité výhody a nevýhody. V některých případech dochází ke střetu pozitivních a negativních vlastností např. v souvislosti s vlhkostní problematikou. Výhodou je, že tento materiál udržuje vyvážené vnitřní klima, na druhou stranu jej nelze použít bez ochranných nátěrů pro venkovní prostředí z důvodů vysoké nasákavosti, která postupem času způsobí degradaci materiálu. Hliněné omítky se vyznačují velmi nízkým faktorem difuzního odporu μ . Čím je difuzní odpor nižší, tím dokážou vodní páry snadněji prostupovat omítkou. Pro srovnání vápenné omítky mají faktor difuzního odporu $\mu = 11$ a omítky vápenocementové dokonce ještě vyšší, naproti tomu hliněné omítky mají faktor difuzního odporu $\mu = 8 - 10$ a při vylehčení slámou se hodnota sníží na $\mu = 2,5 - 5$ [18].

Hliněná omítka velmi dobře absorbuje nepříjemné pachy a škodlivé látky v prostředí, proto je vhodné její použití do kuchyní, či zakouřených místností. Nepálená hlína, zejména výrobky obsahující organické složky, nejsou vhodné do interiéru s velkou vlhkostí, kde může docházet ke kondenzaci vody v materiálu a následnému vzniku plísní a hub. Tento materiál vykazuje velmi dobré tepelnětechnické vlastnosti, které samozřejmě závisí na zpracování a především na složení hliněné směsi. Součinitel tepelné vodivosti (λ) pro vylehčené hliněné směsi slámou či pilinami se pohybuje v rozmezí $0,1 - 0,3 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ u hliněných směsí bez vylehčujících přísad je $\lambda = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ [20]. Hliněná směs akumuluje výborně teplo, přestože má měrnou tepelnou kapacitu nižší než ostatní materiály. Akumulace je velmi výhodná z důvodu postupného uvolňování teploty, která během dne interiér chladí a v noci zase otepluje. Hliněné omítky silnější než 24 cm dovedou rušit rádiové vlny frekvence 0,5 až 5 GHz [18].

Psychologie zabývající se pocity člověka ve vnitřních prostorech konstrukcí uvádí, že hliněné stavby pozitivně ovlivňují psychiku člověka. Potvrzují to výzkumy, které zaznamenaly v hliněných stavbách velké množství záporných iontů. Zjistilo se totiž, že čím více se záporných iontů v prostoru nachází, tím se lépe cítíme. Nejvyšších hodnot je dosaženo v lese, u vodopádů (v přírodě) naopak nejnižší hodnoty vykazují vybetonovaná, prosklená a uzavřená místa [18].

3.3 Zkoušení a zpracování hlíny

Tradiční zkoušky vhodnosti hlíny se dříve prováděly dvěma základními způsoby [24]:

- V rukou se z hlíny přirozené vlhkosti uhněte kulička o průměru cca 50 mm. Pokud je hlína tučná (obsahuje velké množství jílu) bude se lepit na prsty, je - li hlína hubená (neobsahuje jíl nebo jen zanedbatelné množství), tvarování koule je obtížnější a z velmi hubené hlíny nelze vytvarovat vůbec.
- Odebere se zhruba 15 vzorků hlíny z různých míst a hloubek hromady či hliniště, které se promíchají. Hrubší části se musí rozdrtit a přesít přes síto s max. velikostí oka 1 mm. Z 200 g přesáté zeminy s aktuální zemní vlhkostí se uhněte koule, která se nechá spadnout z výšky 2 metrů na hladkou podložku. Nebude – li po dopadu průměr zploštění hliněné koule větší než 50 mm a bude – li mít tvar pravidelného kruhu s rozdíly max. do 2 mm, pak je hlína použitelná. V opačném případě, když se koule rozpadne, je hlína naprosto nevhodná. Pokud se na zploštění objeví malé nebo žádné trhliny jedná se o tučnou hlínu. Vytvoří-li se na zploštění široké trhliny, ale zároveň se koule nerozpadne, je hlína hubená.

V dnešní době se zkoušky provádějí následujícími způsoby [24]:

V současné době je situace jiná. Certifikace výrobků vyžaduje exaktní zjištění vlastností hotových výrobků. Z hlediska těžby zeminy pro hliněné výrobky je nejdůležitější přítomnost jílových minerálů a čistota směsi bez radonu a jiné kontaminace, ostatní parametry lze regulovat složením malt. Některé složky lze dodat (písek jako ostřivo), jiné lze odstranit (štěrk, kameny) síťováním. Typickou zkouškou je nanášení hliněné směsi na kus cihly či zdi, na které zjistíme její přídržnost k podkladu a míru smrštění [17].

Výroba hliněných omítek:

Výrobou je vlastně myšleno smíchání vhodných složek. Proces výroby je principiálně stejný, ať už se jde o domácí nebo průmyslovou výrobu. Níže uvedená fotografie (*Obr. č. 16*) zobrazuje přístroj na malou průmyslovou výrobu hliněných omítek. Tento stroj se skládá z míchačky, kam se ve zvoleném množství vloží dané složky materiálu, které se míchají až do zhomogenizování směsi. Tato směs se následně přesune pomocí pásu ke střešacímu sítu, kde se zachytí nepříznivé velikosti frakce a výsledná směs propadá do pytlů.



Obr. č. 16 Stroj na výrobu hlíněných omítek

Suché omítkové směsi se zpracovávají ve velké kádi nebo míchačce, kde se promíchají s vhodným množstvím vody. Hliněnou směs je nutné při nanášení občas zamíchat, aby byla stále homogenní a nedocházelo k jejímu zasychání. Nanášet lze hliněné omítky ručně i strojně pomocí omítačky. Tento způsob bohužel vyžaduje větší množství vody ve směsi, u které pak důsledkem toho vznikají trhliny.

3.4 Současný sortiment hlíněných produktů

Dříve se hlína využívala převážně kvůli nedostatku stavebního materiálu. Často se do ní také přidávaly různé odpadní suroviny, nebo se vylepšovala příměsmi jiných pojiv např. cementu. Tím se, ale přírodní materiál degradoval a vylučovala se tak zpětná recyklace. V dnešní době se k hlíně jako stavebnímu produktu přistupuje jinak. Hliněné produkty se vyrábí a používají v čisté formě bez přídavku nepřírodních a odpadních přísad, což má pozitivní dopad na recyklaci a zdravé bydlení (viz. kapitola 3.2). V současnosti se hlína už nevyužívá na veškeré části výstavby včetně částí staticky zatížených (např. nosné stěny) tak jako v minulosti, ale zejména na vnitřní prostory a nenosné výplně. Mezi hlavní výrobky dnes patří hliněné omítky a malty převážně do interiérů, dále pak nepálené cihly nebo stavební hliněné desky. V České republice výroba teprve začíná a jedná se zejména o omítky a malty. Na českém trhu se výrobou hlíněných produktů zabývá pouze několik firem jako je například firma Picas, Heluz, Claygar, Hliněný dům.

4 Vlhkostní problematika hliněných materiálů

Vlhkost je velmi sledovanou vlastností i ve stavebnictví, kde se často zvýšená vlhkost podílí na degradaci konstrukcí. Zároveň působením vlhkosti jsou téměř u všech materiálů ovlivňovány vlastnosti mechanické, tepelně - technické aj. Vlhkostní chování materiálů závisí především na množství a distribuci porů, ale i na charakteru působícího prostředí.

4.1 Základní definice vlhkosti

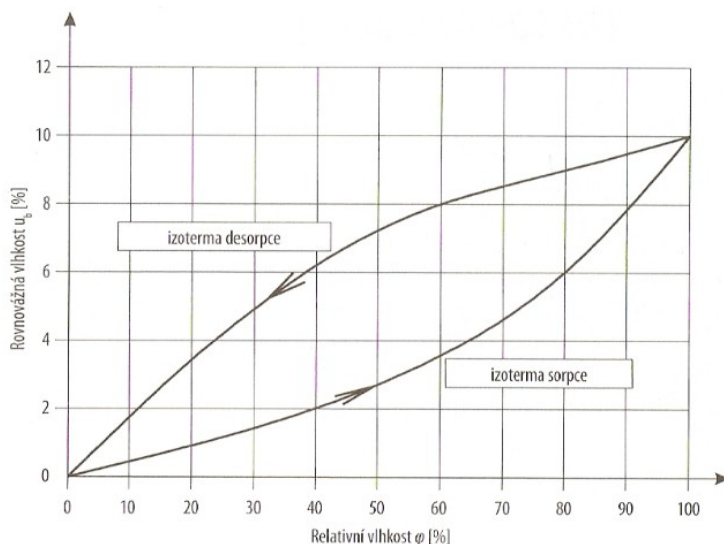
Definice základních pojmů [21]:

Relativní (poměrná) vlhkost vzduchu je dána poměrem hmotnosti vodní páry obsažené ve vzduchu a hmotností páry, jenž by obsahoval vzduch při plném nasycení. Ovlivňuje hmotnostní vlhkost materiálů.

Absolutní vlhkost vzduchu nazývá se taky hustota vodní páry nebo měrná hmotnost vodní páry, je dána hmotností vodní páry, která je obsažena v jednotce objemu vzduchu.

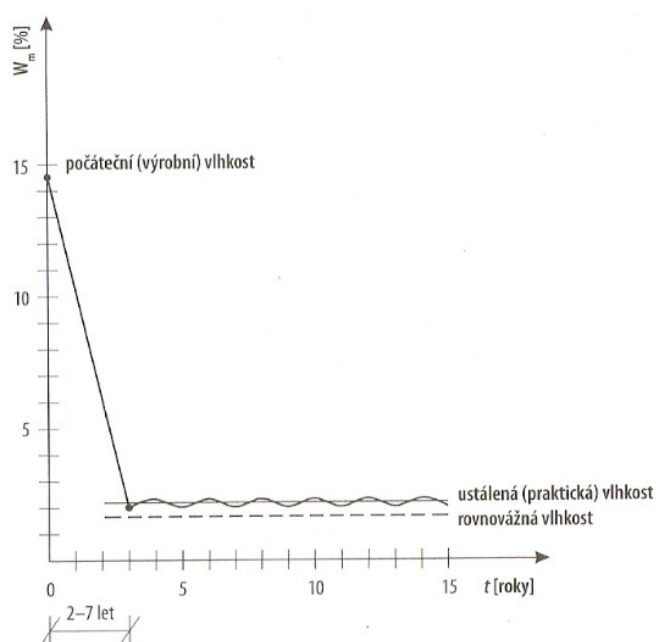
Hygroskopická sorpce jedná se o výměnu vlhkosti (vodní páry) mezi zkušebním porézním materiálem a okolním vzduchem do rovnovážného stavu.

Rovnovážná (sorpční) vlhkost materiálu znamená, že v běžných atmosférických podmínkách (vlhkost, teplota, tlak) má každá pevná pórovitá látka určité množství vlhkosti (vody), jenž se v čase nemění. Zvyšuje – li se relativní vlhkost vzduchu, začne se zvětšovat hmotností vlhkost materiálu. Tomuto jevu se říká sorpce a je graficky znázorněna křivkou tzv. izotermou sorpce. Opačný jev, tedy snižující se relativní vlhkost vzduchu se nazývá desorpce a v grafu ji vyjadřuje křivka tzv. izoterma desorpce. Obě křivky jsou znázorněny v jednom grafu (viz. Graf č. 1), rozdílem těchto křivek je tzv. hysteréze sorpce.



Graf č. 1 Závislost rovnovážné vlhkosti materiálu na relativní vlhkosti vzduchu [21]

Ustálená (praktická) vlhkost je to charakteristická vlhkost pro daný přirozeně vyschlý materiál. Všechny konstrukce vytvořené mokrou technologií (např. čerstvě nanesená omítka) mají po dokončení tzv. počáteční (výrobní) vlhkost, která postupem času poklesne na ustálenou vlhkost (viz. Graf č. 2).



Graf č. 2 Znázornění procesu z počáteční do ustálené vlhkosti [21]

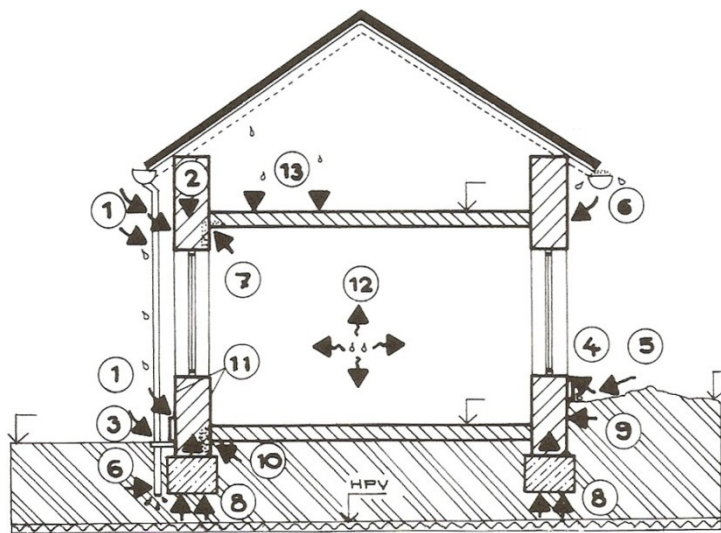
Normovou hmotnostní vlhkostí se myslí vlhkost materiálu, kterou během používání a užívání nesmí výrobek překročit.

Teplota rosného bodu je teplota, při které se vzduch nasytí vodními párami (dojde ke 100 % relativní vlhkosti vzduchu) a vodní páry se začnou srážet [16].

4.2 Způsoby vnikání vody do konstrukcí

Vnikání vody do konstrukcí (viz. Obr. č. 17) lze rozdělit podle jejího skupenství (kapalné a plynné) a podle místa a způsobu vniknutí [13]:

- Atmosférická voda – je veškerá obsažená voda v ovzduší různého skupenství (plynné, kapalné, pevné). Patří do ní vlhkost vzduchu, atmosférické srážky apod.
- Podpovrchová voda – je voda pod terénem, v podzákladí staveb, která se dále dělí:
 - gravitační vodu – voda nalézající se v zeminách s částicemi většími než 1 mm, jejíž pohyb určuje gravitace;
 - kapilární vodu – je to vztlínající a zadržovaná voda v pórech zeminy;
 - adsorpční vodu – je voda vázající se pevně k půdním částicím a charakterizující povrch tvaru vodních částic.
- Provozní vlhkost – je vlhkost ovlivňující stavbu prostřednictvím technologického procesu ve vnitřních prostorech objektu.



Obr. č. 17 Způsoby zvlhčení zdiva konstrukce [13]

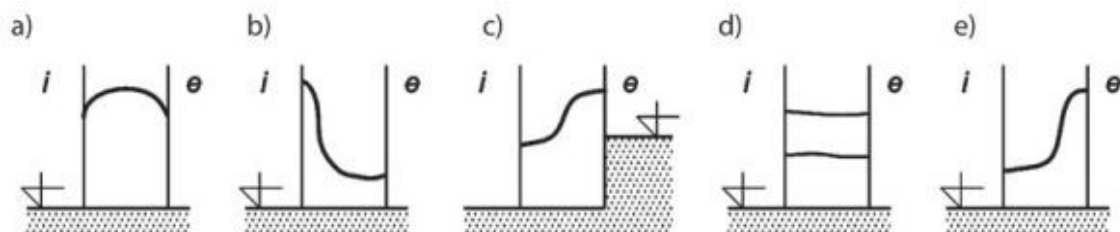
1 – stékající dešťová voda; 2 – volná voda pronikající konstrukčními vadami; 3 – voda pronikající špatným stavebním detailem; 4 – odšťikující voda; 5 – voda z povrchu terénu; 6 – špatně řešené dešťové svody; 7 – kondenzace vlhkosti; 8 – vztlínající voda z podzákladí; 9 – voda působící ze zeminy; 10 – pronikající voda s rozpuštěnými soli; 11 – hygrokopická voda; 12 – zvýšená vlhkost v interiéru; 13 – stavební tzv. výrobní vlhkost materiálů.

Mezi hlavní zdroje vedoucí k degradaci a estetickému poškození materiálů, konstrukcí nebo celých objektů působením zvyšující se vlhkosti patří [13]:

- **Srážková voda** – je to voda způsobená deštěm, která vniká do konstrukce třemi způsoby:
 - hnaná větrem – dešťové kapky zasahují zdi na návětrné straně, kde vlivem tlaku nárazu prostupují do struktury zdiva;
 - odstříkující vodou – zasaženy jsou převážně spodní části soklového zdiva, hlavně ty, které mají nesprávně řešené detaily (chodník bez sklonu od stěny objektu);
 - prostupující průduchy komínu – dochází k tomuto jevu, není-li chráněn komín zastřešením.
- **Vzlínající voda** – konstrukce přijímá vlhkost ze zeminy, která ji obklopuje, závisí hned na několika aspektech: na kapilárních a sorpčních vlastnostech zdiva, množství vody v kontaktu se zdivem, na velikosti a tvaru pórů zemin.
- **Kondenzující voda na vnitřním povrchu konstrukce** – je-li teplota na vnitřní straně povrchu konstrukce nižší než teplota rosného bodu vzduchu uvnitř budovy, pak dochází ke kondenzaci. Kondenzace vody vzniká v místech, kde se vyskytují tepelné mosty, rohy stěn nebo málo prodyšné místa např. nábytek v těsné blízkosti se zdí.
- **Voda působící hydrostatickým tlakem** – voda na povrchu půdy (např. louže) se dostává do konstrukce, pomocí gravitace prostupuje nejprve skrz póry do zeminy a následně za zvýšeného tlaku, způsobeného například přívalovým deštěm, či tajícím sněhem, proniká do pórů zdí.
- **Hygroskopicitu stavebního materiálu** – nastává u materiálu obsahující soli, které na sebe vážou větší vlhkost, a tím zvyšují rovnovážnou vlhkost stavebních materiálů. Tyto materiály mají několikanásobně větší vlhkost než běžné (nezasolené) materiály.
- **Zabudovaná technologická vlhkost** – jedná se o počáteční (výrobní) vlhkost (viz. kapitola 4.1) zabudovaného stavebního materiálu do konstrukce. Snížení jeho

vlhkosti probíhá pomalu cca 1,5 až 3 roky u zdiva a přibližně 1 rok u omítky. Doba vysoušení hlavně závisí na tloušťce a použitém materiálu.

- **Další zdroje zvyšující vlhkost** – způsobené poškozením nebo absencí odváděcích nebo krycích částí konstrukce jako je střešní krytina, dešťové okapy a svody, atd.



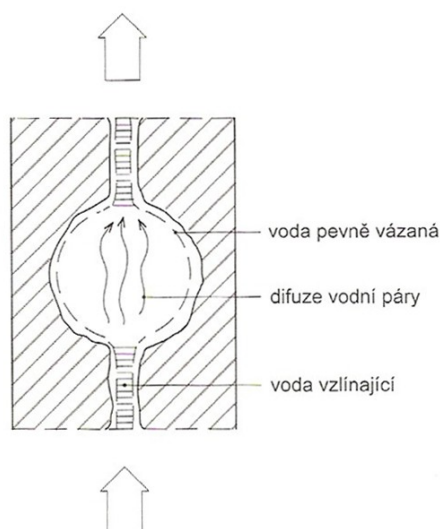
Obr. č. 18 Vlhkostní profily jednotlivých zdrojů vlhkosti [13]

a) Vzlínající vlhkost, b) kondenzace na vnitřním povrchu zdiva, c) vzlínající a kondenzovaná vlhkost, d) hygroskopická vlhkost, e) srážková voda

4.2.1 Vlivy vlhkosti a klimatických podmínek

Zvýšená vlhkost a nepříznivé klimatické vlivy s tím spjaté (nízká teplota a střídání teplot, salinita, ...) způsobují na povrchu konstrukcí (např. u zdiva) vlhkostní mapy a při delším trvání bez ochranných opatření dochází i k odlupování omítek. Zvýšená vlhkost prostředí a materiálů tvoří významný degradační prvek, který způsobuje společně s ostatními degradačními činiteli i závažná poškození, např. statické poruchy, vznik plísní, atd.

Vlhkost je téměř všudypřítomná ve vzduchu i stavebních konstrukcích (pórovitých materiálů). Do určité míry má vlhkost uvnitř budov pozitivní vliv na mikroklima. K problému dochází v tu chvíli, kdy se vlhkost hromadí na jednom místě nebo překročí optimální hranici, což může vést k degradaci a snížení použitelnosti či únosnosti konstrukce. Důležitou vlastností, která má vliv na zvlhčení konstrukce a její případné poškození je schopnost transportu vody. Ten nastává zejména důsledkem difuze a kapilárního vztlínání (viz. Obr. č. 19).



Obr. č. 19 Detail pronikání vlhkosti do zdiva prostřednictvím kapilár a dutin materiálu [13]

Difuze je pohyb vody, kterým se snaží vyrovnat rozdílný tlak mezi dvěma prostředími tzv. gradient tlaku. Směr transportu vodních par postupuje z oblasti vyššího parciálního tlaku do oblasti nižšího parciálního tlaku. Difuze je ovlivňována gradientem tlaku (výše zmíněným) a gradientem teploty tzv. termoosmózy, U termoosmózy se voda pohybuje směrem do prostředí s vyšší teplotou, tedy v opačném směru než u toku vodních par působených gradientem tlaku.

Výsledný směr toku vodních par udává součet působících sil tlaku a teploty na konstrukci. Se změnou ročního období se také mění difuzní tok vody. V zimě je venku zpravidla nižší parciální tlak než uvnitř budovy, proto působí difuzní tok z vnitřních prostor budov směrem ven. V letním období je tomu právě naopak, což příliš nevádí, protože rozdíl teplot mezi vnějším a vnitřním povrchem zdiva není tak výrazný jako v zimě. Důležitou veličinou charakterizující transport vlhkosti je součinitel difuze vodní páry (δ) a především faktor difuzního odpor (μ). Pomocí těchto veličin se určují hodnoty difuzního odporu stavebních materiálů, které vyjadřuje vzdorování proti prostupu vody materiálem.

Kapilární vedení vlhkosti patří mezi základní transportní mechanismy vody, které vznikají u materiálů vodou smáčitelných. Nasátí vody do materiálů probíhá pod jakýmkoliv sklonem pórů, ale rychlost a množství přijaté vody záleží na velikosti pórů. Vyšší rychlosti, ale nižšího vztlínání je dosaženo u materiálů s většími póry, na rozdíl od materiálů s menšími a hutnějšími póry, které mají přesně opačné vlastnosti. U většiny stavebních hmot není pohlcování vody příznivé, a proto se snaží tomuto problému vyhnout pomocí správného konstrukčního řešení.

Toto řešení ale neplatí u čerstvých, nových konstrukcí, u kterých se přemísťuje tzv. výrobní vlhkost materiálu.

4.2.2 Vliv vlhkosti na vlastnosti hliněných malt

Hlína nebo suroviny z ní vytvářené jako jsou hliněné omítky a malty, mají velice dobré regulační vlhkostní vlastnosti. To znamená, že výrobky z hlíny velmi dobře vyrovnávají vlhkost ve vnitřním prostředí budov. Při vyšší vlhkosti v prostředí je tato vlhkost pohlcována do omítky a naopak je – li prostředí příliš suché, je vlhkost omítkou uvolňována. Tato schopnost je však propojená s tím, že hlína na sebe velmi dobře váže vodu. Měřením bylo zjištěno, že proces navlhání probíhá rychleji než proces vysoušení. Proto se omítky nebo jakékoliv jiné výrobky z hlíny nedoporučuje dávat z venkovní strany stavby, kde na ně působí nepříznivé vnější vlivy (déšť, mráz, sníh, atd.). Přirozená vlhkost zdiva z hlíny pro klimatické podmínky ve střední Evropě je přibližně 2 % v letním období a 5 % v zimním období [24]. Vlhkost hliněných výrobků je ovlivněna z hlediska složení – druhem, množstvím jílových minerálů i přísad a příměsí, a z hlediska klimatických vlivů – teplotou, tlakem, množstvím vody a jejich dobou působení na hliněný výrobek. Při zvýšené vlhkosti hliněné omítky, malty a jiných výrobků dochází ke zvětšování objemu a výrobky tak začínají bobtnat. Naopak při vysychání jejich povrch popraská [19].

Obecně se míra zavlhčení zdiva třídí podle hmotnostní vlhkosti materiálu na jednotlivé stupně vlhkosti (viz. Tab. č. 3) dle normy ČSN P 73 0610 [12]. U omítek s hmotnostní vlhkostí do $w = 5 \%$ nevzniká poškození mrazem [21].

Tab. č. 3 Vlhkost zdiva

Stupeň vlhkosti	Hmotnostní vlhkost zdiva w [%]
Velmi nízká	$w < 3$
Nízká	$3 \leq w < 5$
Zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
Vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
Velmi vysoká	$w > 10$

4.3 Stanovení hodnot vlhkosti

Základem zjišťování vlhkosti je stanovit si, co bude podstatou měření. Zda se jedná o zjišťování vlhkosti prostředí, ve kterém se zkoušený vzorek nachází nebo o samotnou vlhkost vzorku (kapaliny, plynu či pevné látky).

4.3.1 Metody zkoušení vlhkosti

Metody měření vlhkosti se dělí podle způsobu [13]:

- Odběr vzorku
 - **destruktivní** – při určování vlhkosti je odebrán vzorek materiálu;
 - **nedestruktivní** – vlhkost se stanovuje nejčastěji pomocí příložného přístroje nebo přímým zabudováním měřicího čidla do zkoušeného materiálu.
- Měření
 - **přímé** – měří se množství vody v materiálu, které je odděleno od pevné fáze;
 - **nepřímé** – závisí na měnící se vlhkosti materiálu, podle které se mění konkrétní fyzikální veličina (elektrický odpor, tepelná vodivost, elektrická kapacita, pohlcování γ – záření atd.), měří se nedestruktivně, ale tato metoda není příliš přesná, je proto předem nutné provést kalibraci.

Vlhkosti materiálů se určují pomocí níže uvedených metod [13]:

Gravimetrická (vážková) metoda – podstata metody spočívá v oddělení vody od pevné fáze (materiálu) a zvažení její hmotnosti m . Jak již název napovídá je vyjádřena podílem hmotnosti vypařené vody a hmotnosti pevné fáze, jedná se vlastně o hmotnostní vlhkost. Mezi výhody patří možnost použití u jakéhokoliv materiálu a nemusí se tvořit kalibrační křivka. Proto je gravimetrická metoda považována za univerzální. Je využívána ke kalibraci přístrojů níže popisovaných nepřímých metod.

Karbidová metoda – se řadí mezi hlavní chemické metody, principem této metody je chemická reakce vody s karbidem vápníku, vyjádřená vztahem:



Při styku karbidu vápníku s vodou dojde k okamžité reakci a vznikne acetylen. Při této reakci vzniká tlak plynu. Výhodou karbidové metody je možnost provedení přímo na stavbě a rychlé určení vlhkosti zdiva. Odebraný vzorek se zváží a poté vloží do ocelové tlakové láhve s manometrem. Do láhve ke zkoušenému vzorku se přidá ampulka karbidu vápníku a ocelová kulička. Láhev se uzavře a pár minut se s ní třese, dokud ocelová kulička nerozdrtí ampuli karbidu vápníku. Ampulka okamžitě začne reagovat s vodou obsaženou ve vzorku. Poté se počká na ustálení hodnoty tlaku na manometru. Hmotností vlhkost pak stanovíme (pomocí hmotnosti vzorku a odečteného tlaku) z tabulky [21].

Elektrické metody – jsou to nepřímé metody sloužící k určování vlhkosti materiálů, které měří vlhkost na základě změn elektrických veličin. Kromě vlhkosti reagují také na jiné fyzikální a chemické vlastnosti, proto se každé elektrické zařízení na měření vlhkosti kalibruje na předem určený stavební materiál. Elektrické přístroje (vlhkoměry) slouží hlavně pro rychlé a orientační stanovení hodnoty vlhkosti a měří maximálně do hloubky 30 až 50 mm. Mezi elektrické metody patří níže uvedené odporové a kapacitní metody, které se osvědčily pro měření povrchové vlhkosti zdiva.

Odporová metoda – využívá měření elektrického odporu vlhkého materiálu, jenž se s vlhkostí mění. Naměřená vlhkost závisí hlavně na teplotě, na rozložení vlhkosti, obsahu solí v měřeném materiálu a dalších vlastnostech použitých přístrojů. S poměrně přesnými výsledky lze počítat pouze u nezasolených materiálů s maximální hmotnostní vlhkostí do 6 % a s přibližně stálou teplotou. Se zvyšujícím obsahem solí a vlhkosti materiálu přesnost klesá.

Kapacitní metoda – principem metody je měření vlhkosti pomocí kapacity kondenzátoru, která se mění v závislosti na vlhkosti zkoušeného vzorku. Tento vzorek tvoří dielektrikum kondenzátoru. Výhodou je, že na výslednou vlhkost má nepatrný vliv teplota a obsah rozpuštěných solí v materiálu. Při nízkých vlhkostech do 6 % dostáváme poměrně přesné hodnoty. Se zvyšující se vlhkostí přesnost výsledků klesá.

4.3.2 Měření vlhkosti materiálů v závislosti na charakteru prostředí

Existuje nepřeberné množství zkoušek a postupů stanovení vlhkosti prostředí, materiálu, či jejich vzájemné závislosti. Jedním z základních měření je určení vlhkosti těles.

Pro **stanovení vlhkosti materiálu vysušením** se postupuje podle normy ČSN EN ISO 12570 [9]. Nejprve je třeba si zvolit zkušební vzorek a zařadit ho do skupiny materiálů, které přísluší daná teplota sušení (viz. Tab. č. 4).

Tab. č. 4 Teploty pro vysušení daných materiálů

Materiál	Teplota sušení [°C]
Materiály se stálou strukturou při 105 °C, např. dřevo nebo minerální materiály	105 ± 2
Materiály, u nichž se může při teplotě 70 až 105 °C změnit struktura, např. některé lehčené plasty	70 ± 2
Materiály, které při vyšší teplotě uvolňovat krystalizační vodu nebo ovlivňovat nadouvadla, např. sádra a některé pěny	40 ± 2

Při zkoušení v laboratoři by měla teplota být (23 ± 6) °C. Před sušením se zkušební vzorek zváží s přesností na 0,1% jeho hmotnosti, případně pro stanovení měrné objemové vlhkosti či objemové hmotnosti se změří jeho rozměry pomocí kovového pravítka s přesností 0,5 mm nebo posuvného měřítka s přesností na 0,1 mm. Následně se vzorek umístí do sušárny s příslušnou teplotou, kde se suší do konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost se získá měřením posledních tří po sobě následujících vážení nejméně po 24 hodinách, jejichž rozdíl hmotnosti není větší než 0,1% celkové hmotnosti. Po dosažení konstantní hmotnosti se vzorky zchladí na teplotu (30 až 40) °C a zváží se stejnou přesností jako před sušením. Nakonec se hodnoty zapíší do vzorce a spočítá se hmotnostní, měrná objemová, objemová vlhkost nebo hmotnostní koncentrace vlhkosti.

Další zkušební metodou související se problematikou vlhkosti je stanovení **propustnosti vodních par u zatvrdlých malt pro vnější a vnitřní omítky** dle normy ČSN EN 1015 – 19 [8]. Principem zkoušky je přitmelení zkušebních těles k otevřenému okraji misek kruhového tvaru, u kterých se udržuje vhodný rozsah konstantního tlaku vodních par, pomocí nasycených roztoků solí. Následně se misky přesunou do prostoru s kontrolovaným rozmezím teploty a s konstantním tlakem, který je ovšem odlišný od tlaku vodních par uvnitř misek. Zjišťuje se, jak rychle dochází k přesunu vlhkosti z jednoho prostředí do druhého, pomocí

vážení hmotnosti misek, která se vlivem změny obsahu vody mění. Výsledkem je grafické znázornění hmotnosti v čase pro tzv. jednotlivé rozsahy hygroskopicity.

Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností dle normy ČSN EN ISO 12571 [10].

Podstatou zkoušky je sestrojení adsorpční a desorpční křivky. Adsorpční křivka se vytvoří tak, že se bude vzorek (vysušený na konstantní hmotnost) umísťovat postupně do jednotlivých zkušebních prostředí, u kterých se bude relativní vlhkost vzduchu zvyšovat. Vlhkost zkušební vzorku se určuje při získání konstantní hmotnosti vzorku pro rovnovážný stav zkušebních prostředí. Zvolí se minimálně čtyři zkušební prostředí (relativní vlhkosti vzduchu), u kterých se určí vlhkost vzorku. Z relativních vlhkostí vzduchu a vlhkosti vzorků se pak vykreslí adsorpční křivka. Desorpční křivka se vytvoří stejným způsobem jako křivka adsorpční rozdíl je pouze v tom, že u desorpční křivky se začíná měřit od nejvyšší relativní vlhkosti vzduchu nejméně od 95 %. Této vlhkosti lze dosáhnout jako posledního měřeného bodu u adsorpční křivky nebo jí lze z vysušeného vzorku získat adsorpci. Pro jednotlivé relativní vlhkosti vzduchu se stanovenými vlhkostmi vzorků se pak může vykreslit desorpční křivka.

Adsorpční i desorpční křivku lze získat pomocí dvou zkušebních metod:

Exsikátorová metoda – v exsikátoru se připraví zvolený nasycený vodní roztok, který uvnitř exsikátoru vytvoří potřebnou relativní vlhkost vzduchu. Následně se do něho umístí zkoušené vzorky. Exsikátor musí být umístěn v prostředí se stálou teplotou.

Metoda klimatizační komory – u této metody je to zjednodušeno tím, že se v klimatizační komoře pouze nastaví zvolené relativní vlhkosti vzduchu a vzorky se do ní umístí.

Zkušební vzorky se váží u obou metod stejně. Váží se do konstantní hmotnosti, které se dosáhne, je – li změna mezi posledními třemi váženími (nejméně po 24 hodinách) menší než 0,1 % celkové hmotnosti.

V případě, že bychom chtěli stanovovat sorpční a desorpční charakteristiky stavebních materiálů použijeme normu ČSN P 73 0610 [12], kde jsou rozděleny vlhkosti vzduchu na 4 klimatické prostředí (viz. Tab. 5).

Tab. č. 5 Vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí budov

Vlhkostní klima vnitřního prostředí	Relativní vlhkost vzduchu [%]
suché	< 50
normální	50 až 60
vlhké	60 až 75
mokré	> 75

Případně lze použít normu ČSN 73 0540 – 3 [1], která přiřazuje ke konkrétním vnitřním částím budov hodnoty vlhkosti a teploty (viz. Tab. 6).

Tab. č. 6 Návrhová vnitřní teplota a relativní vlhkost vnitřního vzduchu v zimním období

Druh místnosti trvale užívané obytné budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_i ¹⁾ [%]
Obývací místnosti (ložnice, dětské pokoje, aj.)	20	50
Kuchyně	20	50
Koupelny	24	ϕ ²⁾
Klozety	20	50
Vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby, aj.)	15	50
Vytápěné schodiště	10	50
¹⁾ Informativní hodnoty relativní vlhkosti vnitřního vzduchu vytápěných místností		
²⁾ Střední hodnota relativní vlhkosti vzduchu vyhodnocena za celý den pro dané prostředí		

4.3.3 Vyjádření vlhkosti

Při zkoušení stavebních materiálů se vlhkost většinou uvádí jako **vlhkost hmotnostní u** , která je vyjádřena jako podíl hmotnosti vypařené vody a hmotnosti suchého vzorku. Vypočte se podle vztahu [9]:

$$u = \frac{m - m_0}{m_0} = 100 \cdot \frac{m - m_0}{m_0} \quad [\%] \quad (2)$$

,kde u ... hmotnostní vlhkost [%];

m ... hmotnost zkoušeného vzorku [kg];

m_0 ... hmotnost vysušeného zkoušeného vzorku [kg].

Objemová vlhkost ψ se vyjadřuje podílem objemu odpařené vody a objemu suchého vzorku materiálu.

$$\psi = u \cdot \rho_0 = \frac{\rho_0}{\rho_w} \quad [-] \quad (3)$$

,kde $\rho_0 \dots$ objemová hmotnost suchého vzorku [kg/m^3];

$\rho_w \dots$ hustota vody (při teplotě 23°C $\rho_w = 997,6 \text{ kg/m}^3$).

Měrná objemová vlhkost w je dána vztahem:

$$w = u \cdot \rho_0 = u \cdot \frac{m_0}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

,kde $\rho_0 \dots$ objemová hmotnost suchého vzorku [kg/m^3];

$m_0 \dots$ hmotnost suchého vzorku [kg];

$V \dots$ objem zkoušeného vzorku [m^3].

5 Stanovení pevnostních charakteristik

Pevnost se řadí mezi mechanické vlastnosti. Je to schopnost materiálu odolávat silovým účinkům zatížení. U každého druhu materiálu je způsob namáhání jiný, proto rozeznáváme různé typy pevností. V některých případech se u pružných materiálů pevnost nedá přímo zjistit, jelikož dojde k pružné deformaci (např. u kovů). Pevnost je závislá na druhu materiálu, jeho vlastnostech a na okolním prostředí. Vlhkost materiálů negativně ovlivňuje jejich výslednou pevnost, která se při zvyšující vlhkosti snižuje (viz. kapitola 4.2.1). Další důležitou vlastností je poróznost zkoušených vzorků, která snižuje jejich hustotu a také výslednou pevnost.

Pevnost konstrukcí se stanovuje dvěma způsoby:

Nedestruktivně – pevnost se určuje přímo na konstrukci či tělese a při jejím provádění nedochází k jejich porušení (např. tvrdoměrné zkoušky);

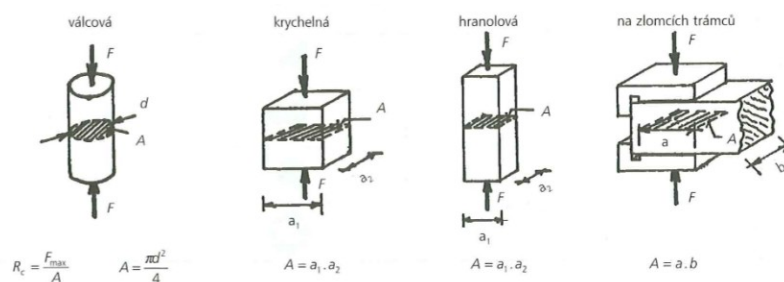
Destruktivně – pevnost se zjišťuje na odebraných vzorcích z konstrukce nebo a vytvořených tělesech, při stanovení pevnosti však dochází k porušení tzv. destrukci vzorků.

Pevnost lze definovat z různých hledisek [22]:

- pevnost strukturní (teoretická) – vyjadřuje pevnostní hodnoty materiálů, které se teoreticky stanovují na základě silových vazeb mezi částicemi látky nebo mezi jejich složkami. Učení těchto pevností je velmi složité, proto se v praxi stanovuje experimentálně.
- pevnost technická – stanovuje se ze získaných únosností zkušebních těles.
- pevnost statistická – určuje se za pomoci teorie pravděpodobnosti, podle které lze i bez skutečných hodnot pevnosti konstrukce stanovit její spolehlivost, pracuje s výslednými technickými pevnostmi.

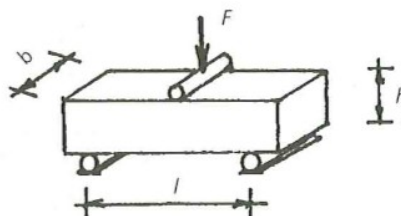
Podle směru namáhání je pevnost rozdělena na [22]:

- pevnost v tlaku – materiál je zatěžován silami, které působí na plochu zkoušeného vzorku, podle zatěžovaných těles se pevnost dále označuje jako válcová, krychelná, hranolová (viz. Obr. č. 20). U vzorků s rozdílnou velikostí stran se musí sledovat poměr mezi výškou a šířkou tělesa, aby nebyl příliš veliký. Protože štíhlé prvky ztrácí únosnost při porušení jejich stability, aniž by dosáhly meze pevnosti tělesa. Křehké materiály (beton, kámen, cementové výrobky apod.) dosahují výrazně větší pevnosti v tlaku než tahu. Proto při zatěžování tlakem vznikají svislé trhlinky, které dokazují, že byl materiál oslaben působením příčných napětí. Vzhledem k malému poměru výšky ku šířce, vykazuje krychelná pevnost menší tření, které zabraňuje příčným deformacím oslabující těleso zatěžované tlakem. Proto je krychelná pevnost větší, než hodnoty pevnosti na válcích či hranolech.



Obr. č. 20 Pevnosti stanovené u různých tvarů těles [22]

- pevnost v tahu – tato pevnost se provádí např. u ocele, u které jsou konce tyče natahovány až do porušení (přetržení) vzorku.
- pevnost v ohybu – provádí se na trámečkách, které se ukládají na dvě podpory a zatěžují se jednou nebo dvěma silami (viz. Obr. č. 21).



$$R_f = \frac{3F_{\max} \cdot \ell}{2bh^2}$$

Obr. č. 21 Ukázka zatíženého trámečku na pevnost v tahu za ohybu [22]

U této pevnosti vzniká zatížením ohybový moment (viz. Obr. č. 22), jehož nejvyšší hodnoty je dosaženo v místě porušení. Vlákná u horního povrchu jsou tlačena a spodního povrchu tažena

Schéma zatížení	Ohybový moment	Tvar průřezu (mm)	Průřezový modul (mm³)
	$M = \frac{1}{4} F \cdot l$		$W = \frac{1}{6} a^3$
			$W = \frac{1}{6} bh^2$
	$M = F \cdot x$		$W = \frac{\pi}{32} d^3 = 0,1d^3$
			$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$

Obr. č. 22 Příklad výpočtů ohybového momentu a průřezového modulu [22]

- pevnost v příčném tahu – zatěžování krychlových nebo válcových těles pomocí dvou protilehlých úzkých ploch, které vytváří soustředné přímkové napětí.
- pevnost ve smyku – udává nejvyšší smykové napětí vyvolané v průřezu (v usmyknutí) zkušební vzorku.

Výsledné hodnoty různých typů pevností jsou odlišné a proto je nelze srovnávat.

6 Praktická část

6.1 Použité materiály

Všechny zkoušky byly prováděny na směsích omítek od firmy Picas, která své hliněné produkty vyrábí čistě z přírodních surovin. Dokonce ani u barevných omítek nedochází ke znečištění hliněné směsi chemikáliemi (umělá barviva, pigmenty) jako je tomu u některých jiných firem. Firma Picas své omítky barví různými druhy jílu či jinými přírodními složkami. Tato vlastnost se velmi cení, jelikož přírodní forma je to, co hliněné omítky (obecně výrobky) navrátilo mezi stavební materiály.

Zkoušeno bylo pět druhů omítek (viz. Obr. č. 23):

Jemná omítka (J) – hnědá, jemná omítka (viz. kapitola 3) s illitickými jíly, do které byly zamíchány částčky pomletých bylin (heřmáněk);

Jemná omítka dekorativní (JD) – jemná omítka obsahující barevné druhy jílu, které vytvářejí barvu hliněné směsi;

Hrubá omítka (H) – hnědá hrubá omítka (viz. kapitola 3) s illitickými jíly;

Hrubá omítka s řezankou (HR) – hrubá omítka vyplněná pomletou slámou (řezankou);

Historická omítka (S) – je to speciální hliněná omítka světle hnědé barvy, která byla použita pro natáčení historických filmů, jedná se tedy o omítku vytvářející „starý“ vzhled. Omítku tvoří pouze hlína a dlouhé stébla slámy.



Obr. č. 23 Zkoušené druhy omítek zarovnané ve formách

6.2 Použité zkoušky dle platných norem

Pro hliněné malty ani jiné hliněné produkty u nás neexistují žádné platné normy, a proto jsem na jejich přípravu a mechanické zkoušky použil české technické normy pro zkoušení cementových malt.

6.2.1 Příprava a zkoušení čerstvých malt

Před měřením pevnosti se musí nejdříve připravit malta a z ní vyrobené trámečky, u kterých se provedou základní zkoušky, než se provede destruktivní zkouška pevností (viz. kapitola 5).

Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt dle ČSN EN 1015 – 2 [3]:

Pro zkoušení vzorku čerstvé malty je nutné, aby měla minimálně objem 1,5 l nebo 1,5 násobek množství potřebného ke zkoušce.

Aby se zabránilo falešnému zatuhnutí malty, musí se před zkouškou po dobu 5 s až 10 s řádně ručně promíchat např. pomocí zednické lžíce. Zkouška konzistence se provádí na dvou zkušebních vzorcích.

Míchání malty pomocí míchačky s vlastnostmi podle normy ČSN EN 196 - 1 se provádí s příslušným množstvím vody, aby se dosáhlo požadované konzistence malty. Není – li jinak uvedeno, vzorek čerstvé malty se připraví ze stanovené hodnoty rozlití (viz. Tab. č. 7).

Tab. č. 7 Hodnota rozlití vztažená k objemové hmotnosti čerstvé malty [3]

Objemová hmotnost čerstvé malty [kg/m ³]	Hodnota rozlití [mm]
> 1200	175 ± 10
> 600 ≤ 1200	160 ± 10
> 300 ≤ 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

Doba míchání se měří od okamžiku, kdy jsou dány do míchačky všechny složky. Zpracování respektive míchání se provede dle pokynů výrobce zkoušených malt. Pokud tyto podklady nejsou k dispozici, postupuje se podle níže uvedeného postupu.

Tab. č. 8 Hmotnost a objem suché maltové směsi [3]

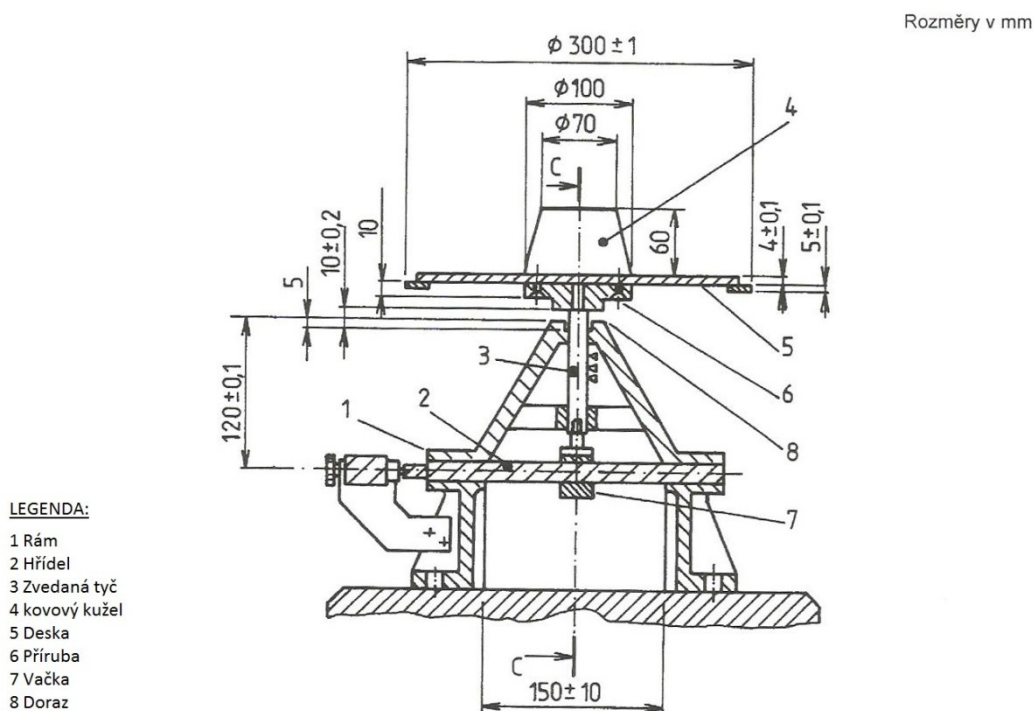
Směs čerstvé malty	míchačka podle EN 196 - 1	Míchačka na maltu
Hmotnost v suchém stavu [kg]	1,8 - 3,0	30 – 50
Objem [dm ³]	0,5 - 2,5	25 – 75

Dané množství vody se nalije do míchačky a během 30 s se přidá suchá maltová směs (viz. Tab. č. 8), která se míchá při nízké rychlosti. Po dalších 60 s při stejné rychlosti se míchání ukončí, není – li výrobcem stanoveno jinak.

Konzistence malty rozlitím podle ČSN EN 1015 -3 [4]:

Připraví se minimální množství čerstvé malty ke zkoušení podle výše uvedené normy ČSN EN 1015 – 2.

Před zkoušením se vždy deska i vnitřní povrch kovového kužele očistí vlhkou houbou. Pokud nebyl střešací stolek po dobu 24 hodin používán, provede se těsně před zkouškou 10 zdvihů naprázdno. Do středu desky střešacího stolku (viz. Obr. č. 24) se umístí kovový kužel, který se ve dvou vrstvách naplní maltou. Každá vrstva se ztuhne minimálně 10 mírnými údery dusadla tak, aby byl kužel rovnoměrně naplněn. Při plnění se kovový kužel se přitlačuje jednou rukou k desce.



Obr. č. 24 Střešací stolek ke zkoušení konzistence malty rozlitím [4]

Po naplnění se přebytečná malta pomocí špachtle odstraní a zarovná s povrchem kužele. Plocha desky hlavně kolem kužele se očistí a setře do sucha. Přibližně po 15 s se kovový kužel zdvihne kolmo vzhůru a malta se 15 nárazy s konstantní frekvencí jednoho zdvihu za sekundu rozlije na desku střešacího stolku. Průměr rozlití malty se měří pomocí měřidla (s přesností na 1 mm) ve dvou na sebe kolmých směrech. Vypočítá se průměr ze dvou hodnot změřených rozlití. Liší - li se jednotlivé hodnoty rozlití od její průměrné hodnoty o více než 10 %, zkouška konzistence rozlitím se opakuje z další dávky malty. V opačném případě jsou - li jednotlivé hodnoty rozlití odlišné o méně než 10 % považuje se tato průměrná hodnota za hodnotu rozlití malty.

Objemová hmotnost čerstvé malty se stanoví jako podíl její hmotnosti k objemu nádoby, ve které je malta uložena a zhutněna dle daných předpisů ČSN EN 1015 – 6 [5]. Před prováděním zkoušky se musí dávka malty mírně promíchat např. pomocí zednické lžice a to po dobu alespoň 5 s až 10 s, aby nedošlo k falešnému zatuhnutí. Než se bude provádět zkouška objemové hmotnosti malty, musí se stanovit hodnota konzistence jejího rozlití dle ČSN EN 1015 – 3. Podle hodnoty rozlití se určí způsob hutnění (viz. Tab. č. 9).

Tab. č. 9 Předepsaná hodnota rozlití pro hutnění malt [5]

Konzistence při použití	Hodnota rozlití [mm]	Způsob hutnění malty
Hutná malta	< 140	1. Vibrační metoda
Plastická malta	140 až 200	2. Rázová metoda
Řídká malta	> 200	3. Plnicí metoda

1. Plnění a hutnění vibrační metodou – pomocí lopatky se měřicí nádoba naplní až po okraj zkoušenou maltou a umístí se na vibrační stolek. Malta se vibruje tak dlouho, dokud dochází k jejímu dalšímu sedání. Po zhutnění se pomocí špachtle odstraní přebytečná malta a zarovná s horním okrajem nádoby. Povrch nádoby se očistí vlhkou tkaninou.
2. Plnění a hutnění rázovou metodou – pomocí lopatky naplníme měřicí nádobu přibližně do poloviny maltou. Hutnění se provádí zvedáním nádoby na různé strany do výšky asi 30 mm a nechává se spadnout na pevnou tuhounou podložku o hmotnosti alespoň 25 kg. Toto hutnění se provádí celkem 10krát. Další vrstvy se do nádoby plní stejným způsobem až do jejího naplnění. Přebytečná malta se pomocí špachtle odstraní a zarovná se s horním okrajem nádoby, jejíž povrch se očistí vlhkou tkaninou.

3. Plnicí metoda – malta se plní pomocí lopatky od středu nádoby tak, aby stékala k jejím vnějším stěnám. Nádoba se tímto způsobem naplní a přebytečná malta se setře špachtlí a zarovná s horním okrajem nádoby. Její povrch se očistí vlhkou tkaninou.

Při zkoušce objemové hmotnosti se nejprve zváží hmotnost prázdné měřicí nádoby (m_1) o objemu (V_V) cca 1 l, po naplnění nádoby maltou se opět zváží (m_2). Objemová hmotnost čerstvé malty (ρ_m) se pak vypočte podle vztahu:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (5)$$

Celková objemová hmotnost se vypočítá zprůměrováním ze dvou naměřených hodnot zkušební malty a její hodnota se zaokrouhlí na 10 kg/m³. Pokud se ale jednotlivé hodnoty objemové hmotnosti liší o více než 10% od své průměrné hodnoty, musí se zkouška opakovat, v opačném případě se jedná o výslednou objemovou hmotnost čerstvé malty.

6.2.2 Zkoušení zatvrdlých malt

Objemová hmotnost zkušebních těles ze suché zatvrdlé malty se zjišťovala dle pokynů normy ČSN EN 1015 – 10 [6]. Zkušební tělesa se při teplotě (105 ± 5) °C v sušárně vysuší. Sušení se provádí tak dlouho, dokud se dvě po sobě následující vážení, změřené po 2 hodinách nebudou lišit o více než 0,2 % hmotnosti vysušeného vzorku. Objemová hmotnost zatvrdlé malty se pak určí jako poměr hmotnosti zkušebních těles m_s a objemu V_s . Výpočet se provede podle vztahu:

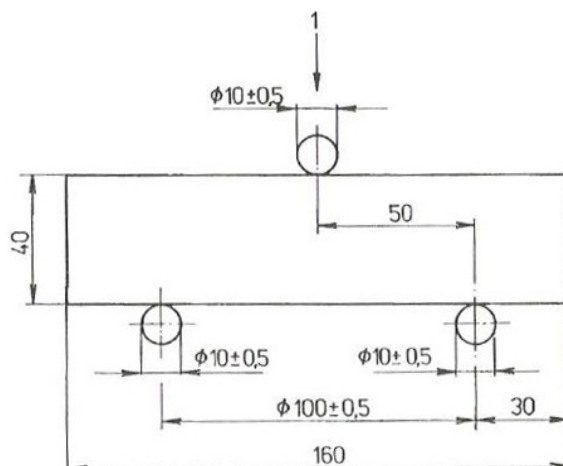
$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (6)$$

Objem (V_s) je roven objemu použité formy na výrobu trámečků. $V_s = 256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$.

Pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku stanovujeme dle normy ČSN EN 1015-11 [7]:

Pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu se zjišťují na třibodovém zatěžovacím lisu (viz. Obr. č. 25), na kterém jsou zkušební trámečky (o rozměrech 160 mm x 40 mm x 40 mm)

stlačovány do porušení. Tím se trámeček rozlomí na dvě části. Na těchto částech trámečku pak zkoušíme pevnost malty v tlaku. Pokud se pevnost v tahu za ohybu nezkouší, může být trámeček rozdělen jakýmkoliv způsobem na dvě části tak, aby nebyly porušeny a mohly být použity pro pevnost v tlaku.



Obr. č. 25 Třibodový zatěžovací lis pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu [7]

Ke zkoušce pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku je nutné si vytvořit tři zkušební tělesa. Před vytvořením zkušebních trámečků se musí malta pomocí zednické lžice na dobu (5 až 10) s mírně zamíchat, aby nedošlo k jejímu falešnému ztuhnutí. Poté si připravíme kovovou formu, která bude mít tři oddíly. Každý z těchto oddílů bude mít vnitřní hloubku i šířku $(40 \pm 0,1)$ mm a délku $(160 \pm 0,4)$ mm. Formu vyčistíme a její vnitřní plochy vytřeme minerálním olejem. Poté formu začneme plnit ve dvou přibližně stejných vrstvách. Každou vrstvu zhutníme 25 úderů pěchu. Přebytkovou maltu odstraníme pomocí zednické lžice a zarovnáme s horním okrajem formy (viz. Obr. č. 26).



Obr. č. 26 Hliněná omítková směs zhutněná ve formě

Formu umístíme do vlhkostní komory. Zkušební trámečky se zkouší minimálně po 28 dnech od jejich zhotovení. Jejich povrchy se očistí a umístí se rovnostranně na dvě zatěžující podpory lisu ke zkoušení pevnosti v tahu za ohybu. Na zkoušecím lisu se nastaví rovnoměrná

zatěžovací rychlost v rozsahu 10 N/s až 50 N/s tak, aby došlo k porušení do 30 s až 90 s. Maximální hodnota zatížení v N se zaznamená. Pevnost v tahu za ohybu (R_f) se pak vypočte podle následujícího vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (7)$$

,kde F_f ... zatěžující síla v tahu za ohybu [N];

l ... vzdálenost mezi podporami $l = 100\text{mm}$;

b ... šířka tramečku [mm];

h ... výška tramečku [mm].

Před zkoušením pevnosti v tlaku se zkušební tramečky očistí a kolmo na směr plnění se umístí do zkušebního zařízení tak, aby plocha destiček zkušebního stroje dosedala na jednu stranu šířky tramečku. Rychlost zatěžování se nastaví podle (Tab. č. 10).

Tab. č. 10 Rychlost zatěžování malt v tlaku

Malty pro zdění		Malty pro vnitřní a vnější omítky	
Třída	Rychlost zatížení [N/s]	Kategorie	Rychlost zatížení [N/s]
M 1	50	CSI	50
M 2,5	100	CSII	100
M 5	200	CSIII	200
M 10	300	CSIV	400
M 15	400	---	---
M 20	400	---	---

Výsledná pevnost v tlaku (R_c) se vypočte z maximální síly zatížení (F_c) podle vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

,kde F_c ... zatěžující síla v tlaku [N];

A ... zatěžující plocha vzorku [mm^2].

Pevnost v tahu za ohybu i v tlaku se uvádí pro každé zkušební těleso s přesností $0,05 \text{ N/mm}^2$. Vypočítá se také průměrná hodnota s přesností na $0,1 \text{ N/mm}^2$.

6.3 Výsledky

6.3.1 Příprava čerstvých hliněných malt

Pro vytváření vzorků a jejich následné zkoušení se musí odebrat minimální množství podle normy ČSN EN 1015 – 2 (viz. kapitola 6.2.1). Jednotlivé druhy omítkových směsí se smíchají s požadovaným množstvím vody, které jsou deklarovány výrobcem (viz. Tab. č. 11).

Tab. č. 11 Použité množství vody do směsí

Druh omítky	Hmotnost směsi	množství vody
	[kg]	[l]
J	2	0,34
JD	2	0,56
H	2	0,33
HR	1,8	0,34
S	1,8	0,65

Míchání probíhá přibližně 2 minuty, aby se směs dostatečně promísila (viz. Obr. č. 27). Následně se nechá chvíli odležet (5 minut, u směsí JD a S až 30 minut). Během této doby se voda dostane do struktury jílu. Poté se směs opět už zamíchá, čímž vznikne výsledná čerstvá hliněná směs, připravená ke zkouškám.



Obr. č. 27 Laboratorní míchačka

Provede se zkouška konzistence rozlitím podle normy ČSN EN 1015 -3 (viz. kapitola 6.2.1). Výsledné hodnoty rozlití čerstvých malt (viz. Obr. č. 28, 29) udávají způsob hutnění při zkoušení objemové hmotnosti čerstvých malt.



Obr. č. 28 Konzistence historické omítky



Obr. č. 29 Konzistence dekorativní omítky

Podle normy ČSN EN 1015 – 2 (viz. kapitola 6.2.1) nevyhovuje na konzistenci žádná z uvedených druhů omítek, ale jak již bylo uvedeno (viz. kapitola 6.2) hlína není normovaná, a proto lze některé hodnoty pouze odvozovat. V publikaci Hliněné stavby [24] uvádí konzistenci rozlití hliněných malt 140 mm. Tuto hodnotu rozlití splňují všechny zkoušené omítky (viz. Tab. č. 12), kromě hrubé omítky s řezankou (HR).

Tab. č. 12 Zprůměrované hodnoty objemových hmotností
a konzistence rozlití zkoušených čerstvých malt

Název omítky	Rozlití [mm]	ρ [kg/m ³]	ρ_0 [kg/m ³]
J	145	1960	1820
JD	157	1670	1350
H	158	2080	1900
HR	131	1920	1740
S	154	1700	1430

,kde ρ ... objemová hmotnost čerstvé malty

ρ_0 ... počáteční objemová hmotnost ztvrdlých trámečků při nulové vlhkosti

U čerstvých malt se zjišťovala také objemová hmotnost (ρ), která se prováděla v souladu s normou ČSN EN 1015 – 6 (viz. kapitola 6.2.1).

6.3.2 Zkoušky prováděné na hliněných trámečcích

Další zkoušky se prováděly již na hotových ztvrdlých trámečcích, které se vyrobily podle normy ČSN EN 1015 - 11 (viz. kapitola 6.2.2), až na modifikaci při zrání a odformování.

Na rozdíl od běžných cementových malt se hliněné malty nedávaly do vlhkostní komory, protože by neztvrdly.

Směsi se nechávaly v běžném vnitřním prostředí minimálně dva dny ve formách, aby nedošlo k poškození při odformování trámečků. Po odformování se hliněné trámečky pěti různých záměsí rozmístily na ták a nechaly dalších 7 dní odležet a zvažili se jejich hmotnosti ($m_{poč.}$). Tyto hmotnosti se následně použily k výpočtu počáteční vlhkosti ($w_{poč.}$) trámečků přibližně po 7 dnech od jejich vyrobení (viz. Tab. č. 13).

Tab. č. 13 Počáteční vlhkosti vzorků

Druhy omítek	J	JD	H	HR	S
$w_{poč.} [\%]$	0,78	0,96	0,79	1,06	1,81

Pro zkoumání hygroskopického nárůstu vlhkosti se musí zkušební hliněné trámečky (viz. Obr. č. 30) při zvolené teplotě 105 °C, kterou udává norma ČSN EN ISO 12570 (viz. kapitola 4.3.2), vysušit na nulovou vlhkost vzorků do konstantní hmotnosti (m_0).

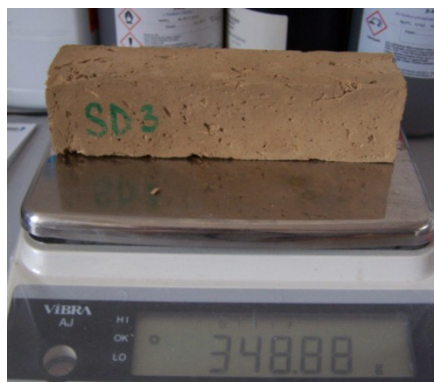


Obr. č. 30 Vzorky uložené ve vysoušecí komoře

Po vysušení se změřily rozměry vzorků a vypočítala se jejich objemová hmotnost (ρ_0) při nulové hmotnostní vlhkosti (viz. kapitola 4.3.3), jejíž zprůměrované hodnoty všech vzorků sad jsou zobrazeny (Tab. č. 12).

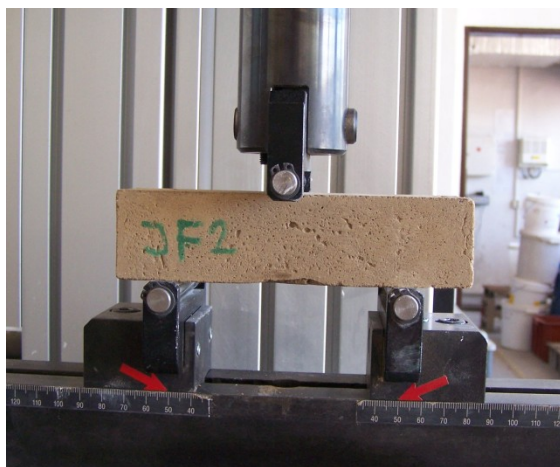
Každá sada zkoušených vzorků se ukládala do různých klimatických prostředí. Jejich nárůst vlhkosti se pozoroval pomocí vážení vzorků (gravimetrická metoda viz. kapitola 4.3.1), jejichž hmotnost se zaokrouhlovala na jedno desetinné místo (viz. Obr. č. 31). U konečných

vlhkostí trámečků byly po změření jejich rozměrů vypočítány jejich objemové hmotnosti (ρ_w) (viz. Příloha č. 1).

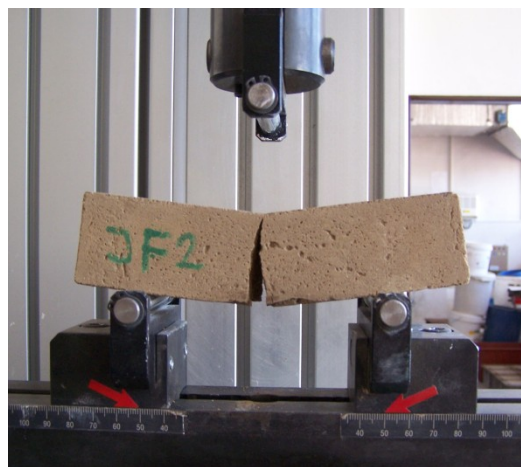


Obr. č. 31 Vážení vzorků

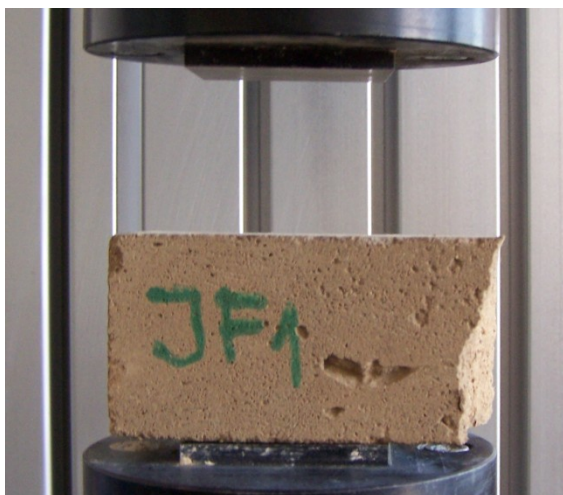
Prvním záměrem bylo dosáhnout u hliněných trámečků všech stupňů vlhkosti, protože nejsou pro hlinu žádné platné normy. Provedlo se srovnání podle vlhkostních stupňů zdiva (viz. Tab. č. 3). U zkušebních trámečků se však nepodařilo dosáhnout všech vlhkostních stupňů materiálu, a proto byly vzorky dále měřeny v různých vlhkostních prostředí (viz. Tab. č. 5). Následně byly vzorky zmáčkнутy pomocí lisu na pevnost v tahu za ohybu (viz. Obr. č. 32, 33) a pevnost v tlaku (viz. Obr. č. 34, 35) podle normy ČSN EN 1015 -11 (viz. kapitola 6.2.2). Hliněné trámečky byly zařazeny do kategorie CSII, podle které se nastavila rychlost stlačení lisu pro pevnost v tahu za ohybu 25 N/s a pevnost v tlaku 100 N/s [2]. Výsledné pevnosti nebyly zaokrouhlovány podle normy, ale z důvodu malých hodnot se zaokrouhlovaly na tři desetinné místa. Výsledné hodnoty vlhkostí, pevností a objemových hmotností všech zkoušených vzorků jsou uvedeny v (Příloha č. 1).



Obr. č. 32 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu (před provedením)



Obr. č. 33 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu (po provedení)



Obr. č. 34 Zkouška pevnosti v tlaku
(před provedením)



Obr. č. 35 Zkouška pevnosti v tlaku
(po provedení)

Sady vzorků A a B byly testovací, u kterých se zjišťoval max. nárůst vlhkosti a jejich citlivost při zkoušení v pevnosti. Obě sady byly společně uloženy do klimatizační komory (viz. Obr. č. 36), v níž bylo nastaveno klimatické prostředí na teplotu 15 °C a vlhkost vzduchu 80 %, které se řadí z hlediska vlhkosti mezi mokré vnitřní prostředí (viz. Tab. č. 5). Zároveň tyto hodnoty teploty a vlhkosti simulují klima v místnostech, jako jsou kuchyně nebo nevytápěné prostory chodeb či sklepů jak uvádí norma ČSN 73 0540 – 3 [1].

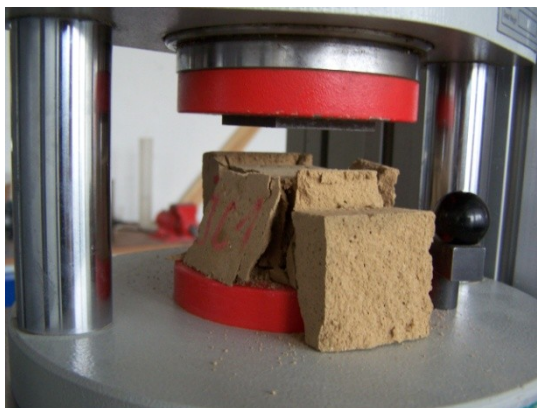


Obr. č. 36 Vzorky uložené v klimatické komoře

Přípravná zkouška pro ověření způsobu zatěžování trámečků - sada A

Pro zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 80% a teplotou 15°C byla použita sada vyrobených vzorků A, u kterých se zjišťovalo za jakou dobu dosáhnout velmi nízké vlhkosti, jejíž hodnota $w < 3 \%$ (viz. Tab. č. 3). Velmi nízké vlhkosti (w) bylo v tomto mokré prostředí dosaženo za 72 hodin.

Pevnost těchto trámečků s velmi nízkou vlhkostí se provedla podle normy ČSN EN 1015 – 11 (viz. kapitola 6.2.2). Při zkoušení vzorků na pevnost v tlaku však docházelo k jejich promáčknutí (viz. Obr. č. 37), které vzniká např. u dřeva nebo jiných silně deformovatelných materiálů. Proto byly výsledné hodnoty těchto trámečků zkresleny a další sady vzorků již byly zkoušeny na citlivějším lisu a se záznamem pracovního diagramu.



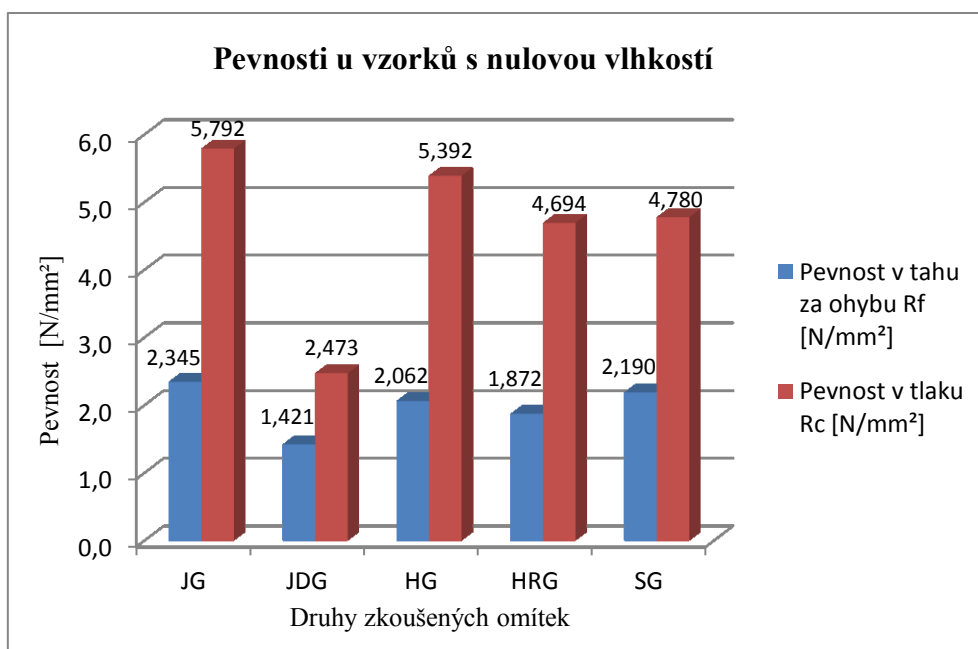
Obr. č. 37 Promáčknutý vzorek při zkoušce pevnosti v tlaku

Zkoušení vzorků vysušených na nulovou vlhkost - sada G

Pro zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 0 % a neznámou teplotou byla použita sada vyrobených vzorků G. Tyto hliněné trámečky byly hned po vysušení a přeměření rozměrů zkoušeny na pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku, hodnoty těchto pevností jsou zobrazeny (viz. Graf č. 3). Zkušební vzorky byly zmačknuty při nulové hmotnostní vlhkosti, aby nedošlo ke zvýšení jejich vlhkosti, umístily se do exsikátoru (viz. Obr. č. 38). Objemové hmotnosti jsou uvedeny (viz. Příloha č. 1).



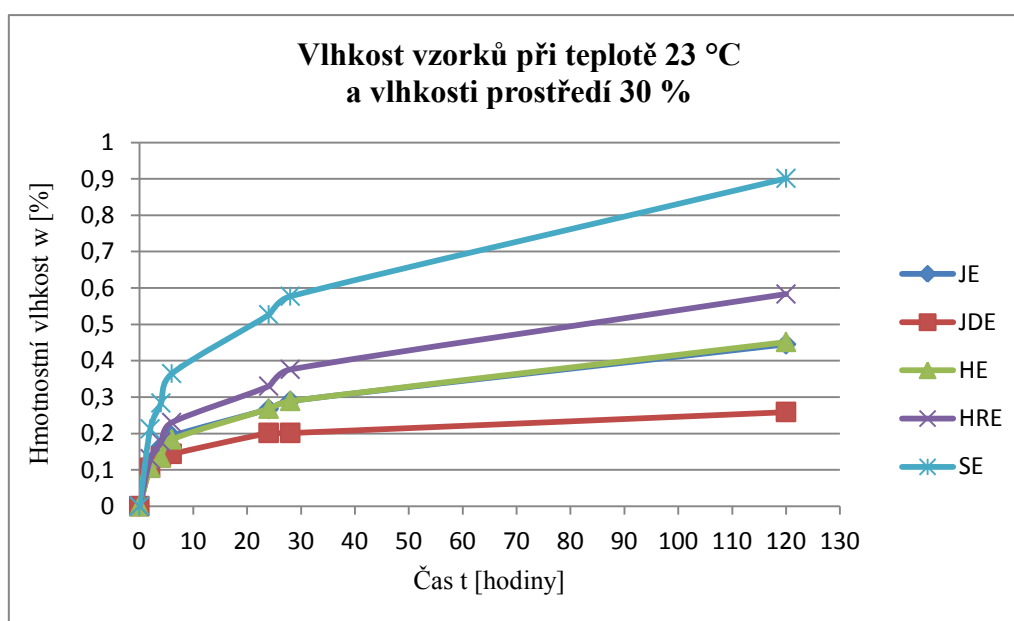
Obr. č. 38 Hliněné trámečky uložené v exsikátoru



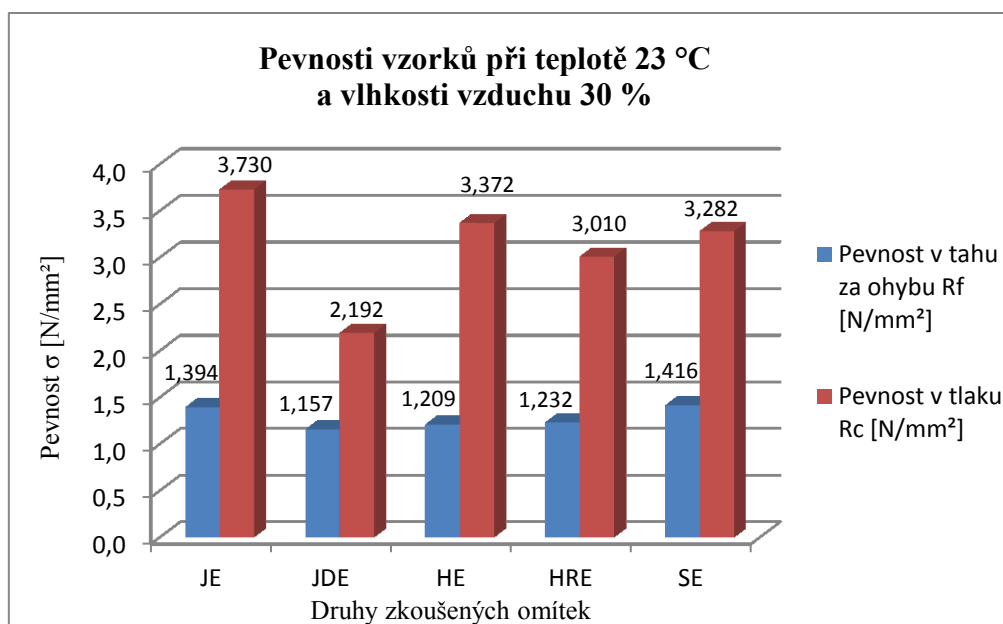
Graf č. 3 Pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku u vysušených trámečků

Zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 30% a teplotou 23°C - sada E

Pro zkoušení časového nárůstu vlhkosti (viz. Příloha č. 3) v prostředí s vlhkostí 30% a teplotou 23°C byla použita sada vyrobených vzorků E. Tato sada trámečků se nechala volně na vzduchu v prostorech laboratoře. Tyto prostory simulovaly požadované hodnoty zkoušeného prostředí, podle kterých se řadí mezi suché vnitřní prostředí (viz. Tab. č. 5). Po dosažení max. hmotnostní vlhkosti vzorků (viz. Graf č. 4) se určily pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Tyto hodnoty jsou uvedeny (viz. Graf č. 5).



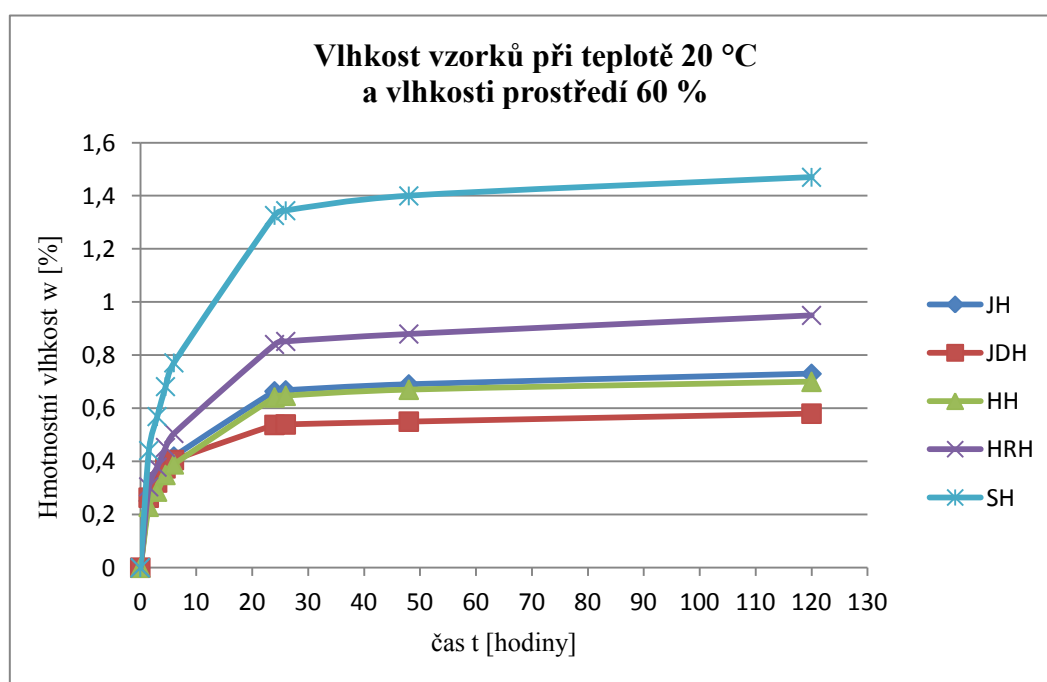
Graf č. 4 Nárůst vlhkosti vzorků v suchém prostředí



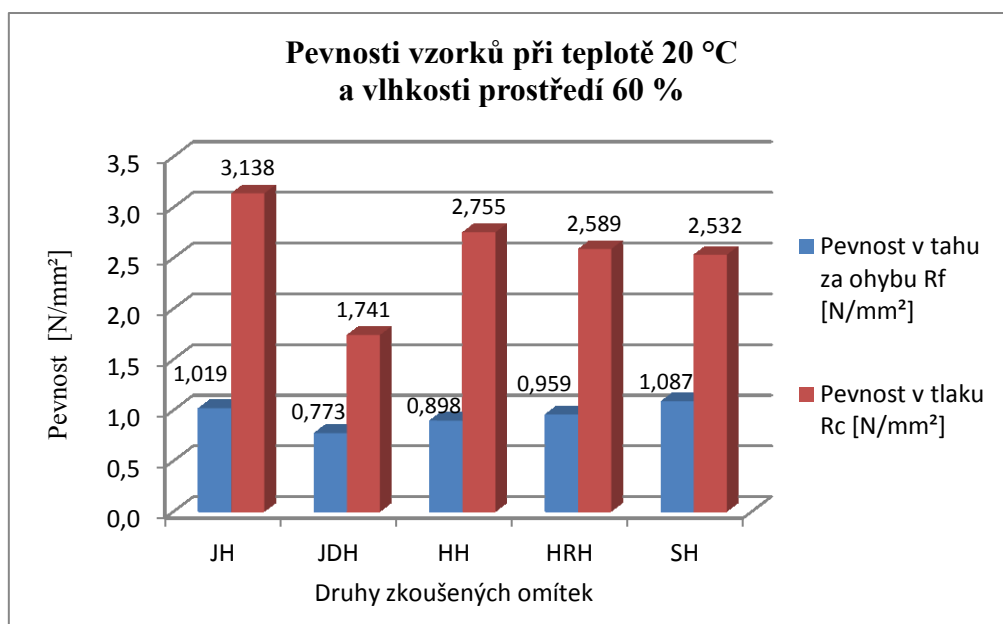
Graf č. 5 Výsledné pevnosti vzorků všech druhů omítek v suchém prostředí

Zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 60% a teplotou 20°C - sada H

Zkoušené vzorky omítek, u kterých se měřil nárůst vlhkosti (viz. Příloha č. 3) v nastavené klimatizační komoře na teplotu 20 °C a vlhkost vzduchu 60 % podle normy ČSN P 73 0610 (viz. Tab. č. 5) se řadí mezi normální vlhkostní prostředí uvnitř budov. U konečných vlhkostí, kterých trámečky dosáhly po 120 hodinách (viz. Graf č. 6), se určily pevnosti (viz. Graf č. 7).



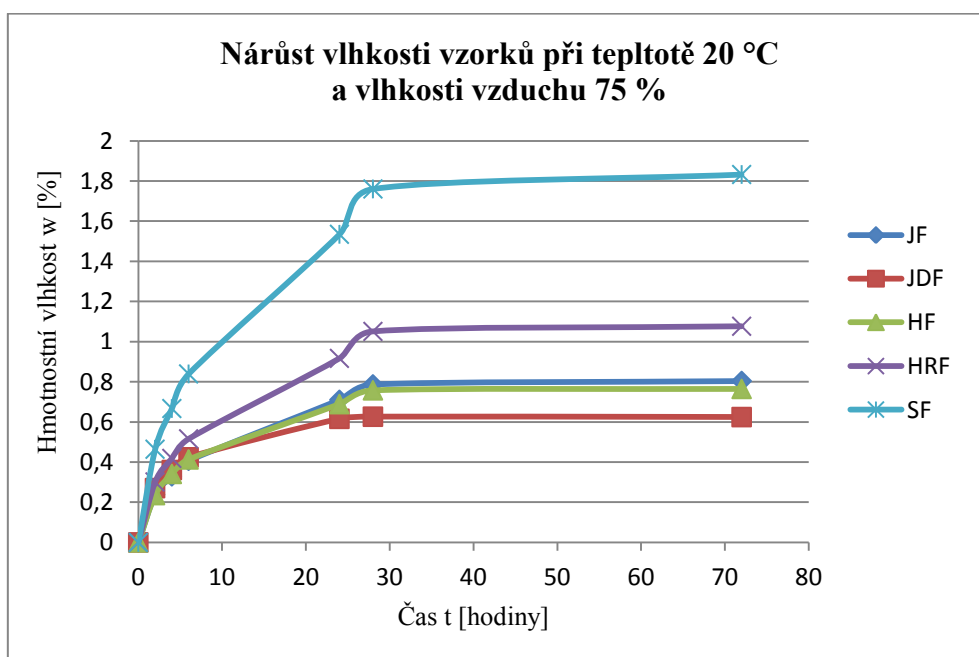
Graf. č. 6 Nárůst vlhkosti vzorků v čase



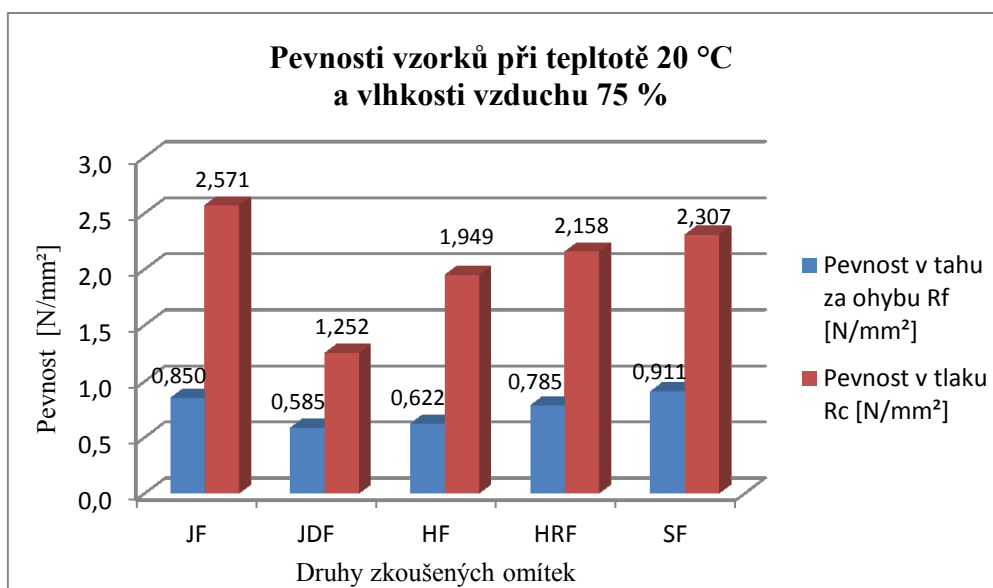
Graf č. 7 Znárodnění pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku u vzorků v normálním vlhkostním prostředí

Zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 75% a teplotou 20°C - sada F

Sada vzorků F byla po vysušení umístěna do klimatizační komory s předdefinovaným prostředím o teplotě 20 °C a vlhkosti 75 %, které se dle normy ČSN P 73 0610 (viz. Tab. č. 5) označuje jako vlhké vnitřní prostředí. V těchto klimatických podmínkách se zjišťovala stoupající vlhkost vzorků v čase (viz. Příloha č. 3). Po dosažení konstantní vlhkosti (viz. Graf č. 8) byly provedeny zkoušky pevnosti (viz. Graf č. 9).



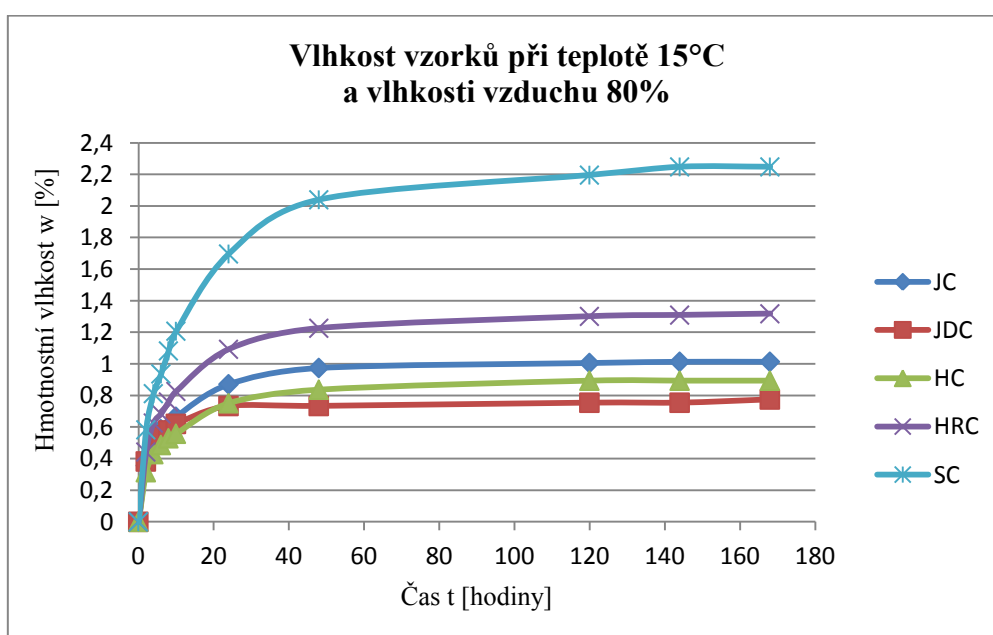
Graf č. 8 Narůstající vlhkost vzorků sady F ve vlhkém prostředí



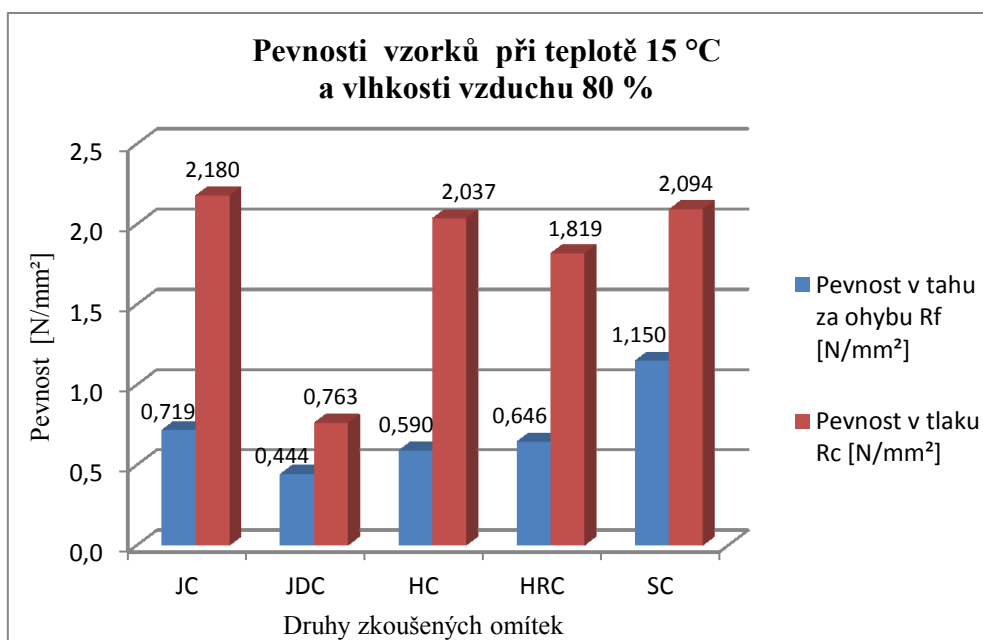
Graf č. 9 Výsledné pevnosti vzorků ve vlhkém prostředí

Zkoušení klimatizovaných vzorků v prostředí s vlhkostí 80% a teplotou 15°C - sada C

Trámečky sady C byly také umístěny do klimatizační komory s nastavenou teplotou 15 °C a vlhkostí prostředí 80 %, které se řadí z hlediska vlhkosti mezi mokré vnitřní prostředí (viz. Tab. č. 5), odpovídají např. sklepům sousedícím s vytápěnými místnostmi. Vážení se provádělo po kratších časových úsecích až do konstantní vlhkosti zkušebních vzorků (viz. Graf č. 10) a (viz. Příloha č. 2), které se po 168 hodinách ustálily a změřily se jejich rozměry. Následně se pomocí lisu provedli zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku (viz. Graf č. 11).



Graf č. 10 Stoupající vlhkost vzorků sady C v čase



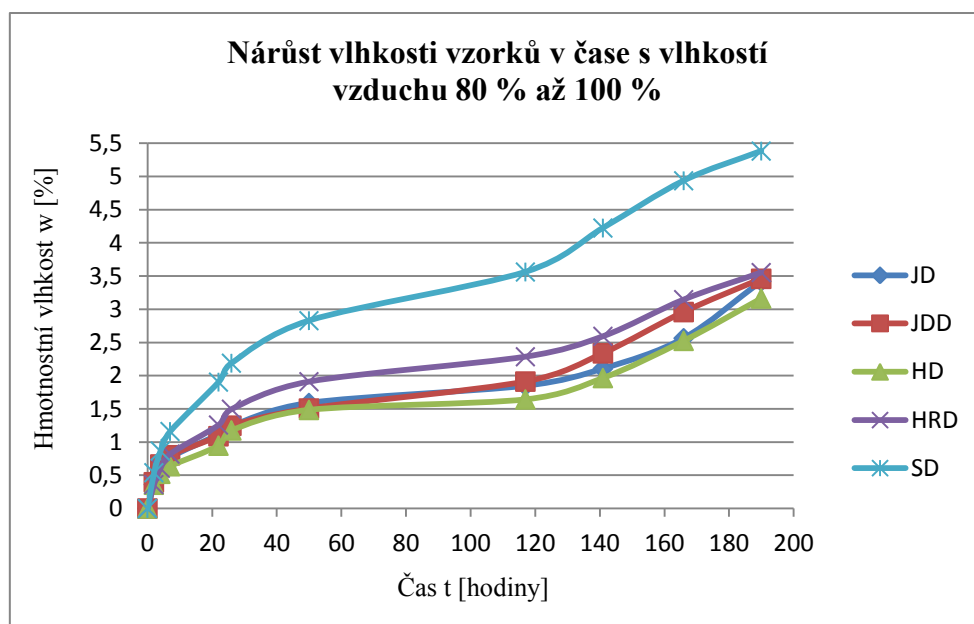
Graf č. 11 Pevnosti vzorků sady C v mokrém prostředí

Zkoušení klimatizovaných vzorků v exteriéru s vlhkostí 80 - 100% - sada D

Sada vzorků D byla uložena v bedně s víkem a zvlhčována vodou pomocí rozstřikovače (viz. Obr. č. 39). Aktuální vlhkost uvnitř bedny byla sledována pomocí vlhkoměru. Tato vlhkost se pohybovala v rozmezí 80 až 100 %, čehož vyplývá, že se řadí mezi mokré prostředí (viz. Tab. č. 5). Konkrétně se simuloval časový nárůst vlhkosti (viz. Graf č. 12) u hliněných omítek při venkovním použití v deštivém prostředí.

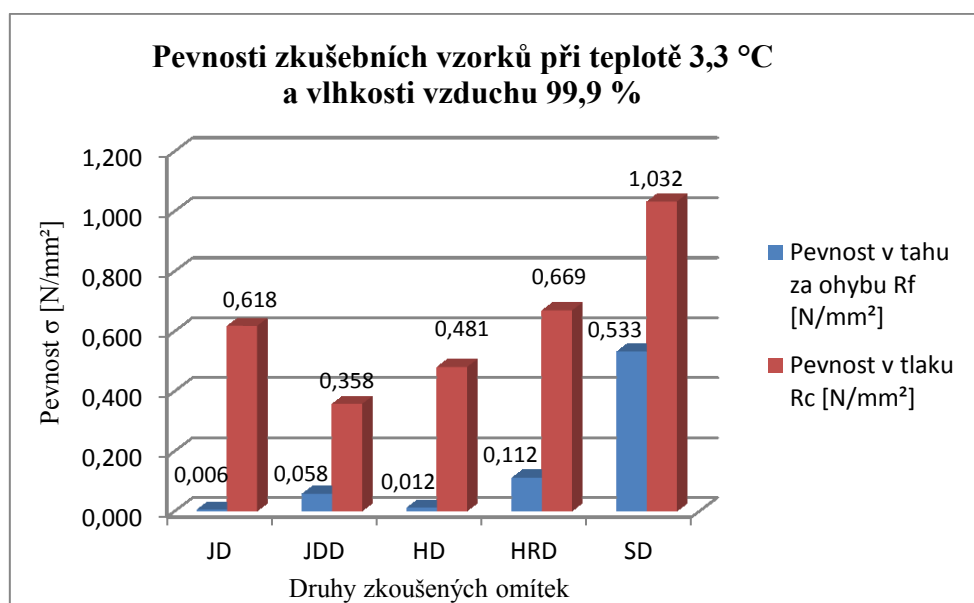


Obr. č. 39 Vzorky uložené ve zvlhčeném prostoru bedny



Graf č. 12 Absorpce vlhkosti vzorků v mokřém prostředí v závislosti na čase

Po 190 hodinách, kdy jsou trámečky sady D vystaveny mokřému prostředí (viz. Příloha č. 2), se na těchto vzorcích provede zkouška pevností v tahu za ohybu a pevností v tlaku, jejichž hodnoty jsou uvedené (viz. Graf č. 13).

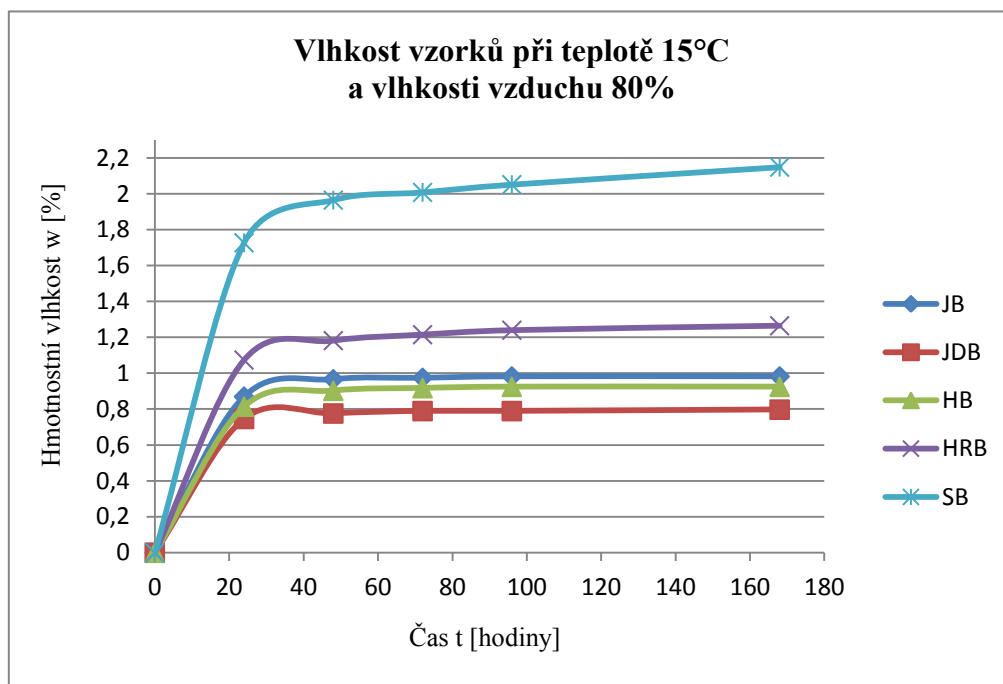


Graf č. 13 Pevnosti vzorků sady D v mokřém prostředí

Experiment simulující vznik krátkodobého kontaktu vzorků s vodou - sada B

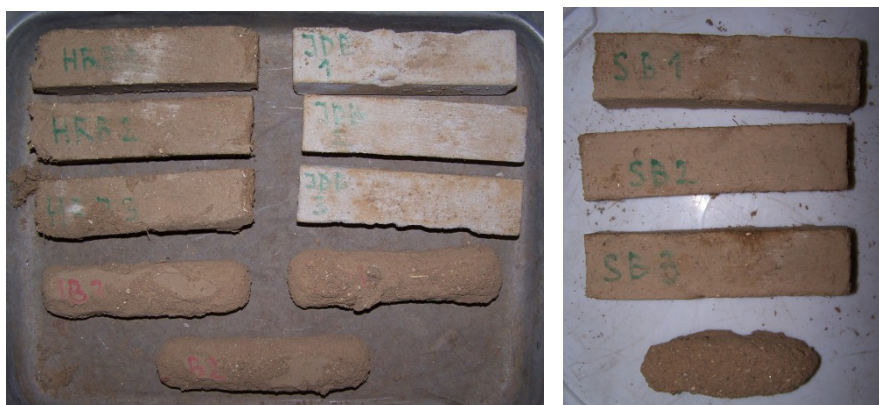
Vzorky sady B se nechaly v klimatické komoře (při teplotě 15°C a vlhkosti 80%) do jejich maximální absorpce (viz. Příloha č. 2). Hmotnostní vlhkost hliněných trámečků měřila téměř pravidelně po 24 hodinách (viz. Tab. č. 14) až do její konstantní hodnoty. Kdy se vlhkost

po 168 hodinách ustálila na hodnotu, která řadí do stupně velmi nízké vlhkosti materiálu (viz. Tab. č. 3).

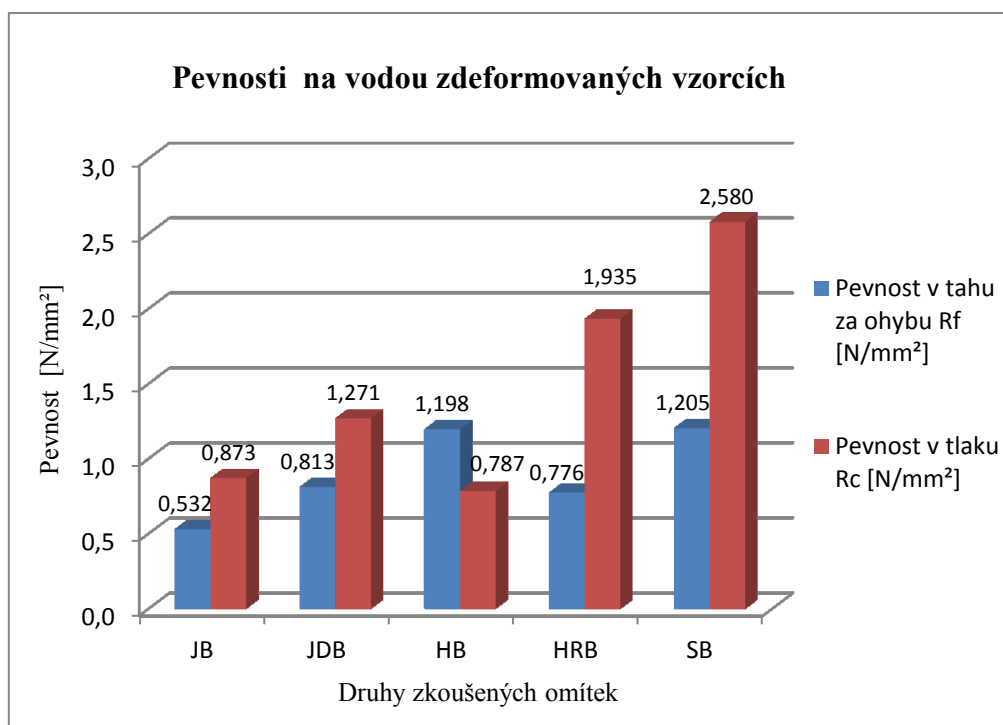


Graf č. 14 Nárůst vlhkosti vzorků sady B v čase

Poté se vzorky z tohoto mokrého prostředí umístily do nádoby s vodou, což mělo simulovat jejich náhlý kontakt s kapalnou vodou např. při poruše instalací. Vliv vody způsobil, že se vzorky již po 7 minutách částečně rozmočily, proto u nich nebylo možné stanovit vlhkost a pevnosti okamžitě po vytažení z vody. Trámečky, které se působením vody úplně nerozpadly, se nechaly i přes značný úbytek hmoty vysušit (viz. Obr. č. 40). Po důkladném vysušení na vzduchu se vzorky po 7 dnech odzkoušely v lisu a vypočetli se jejich pevnosti (Graf č. 15).



Obr. č. 40 Rozmočené vzorky hliněných omítek



Graf č. 15 Pevnosti rozmočených a následně vysušených vzorků

Shrnutí výsledků:

Jednotlivé klimatické prostředí jsou pro přehlednost dále značeny zkratkou KP0 až KP5 (viz. Tab. č. 14). Pro zkoušené klimatické prostředí bylo provedeno srovnání maximální hmotnostní vlhkosti (w) vzorků všech druhů hliněných omítek v závislosti na pevnosti v tahu za ohybu (R_f) a pevnosti v tlaku (R_c). Tyto hodnoty jsou zobrazeny (viz. Tab.č. 15).

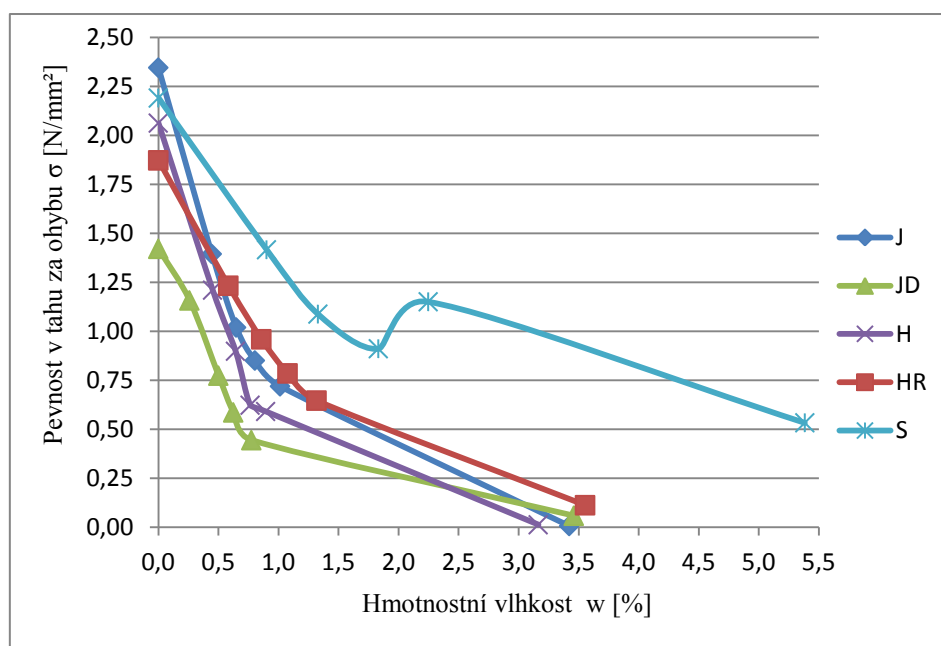
Tab. č. 14 Značení klimatických prostředí

Označení klimatických prostředí	Vlhkost	Teplota
	[%]	[°C]
KP0	0	není známa
KP1	30	23
KP2	60	20
KP3	75	20
KP4	80	15
KP5	99,9	3,3

Tab. č. 15 Závislost vlhkosti na pevnostních charakteristikách zkoušených vzorků

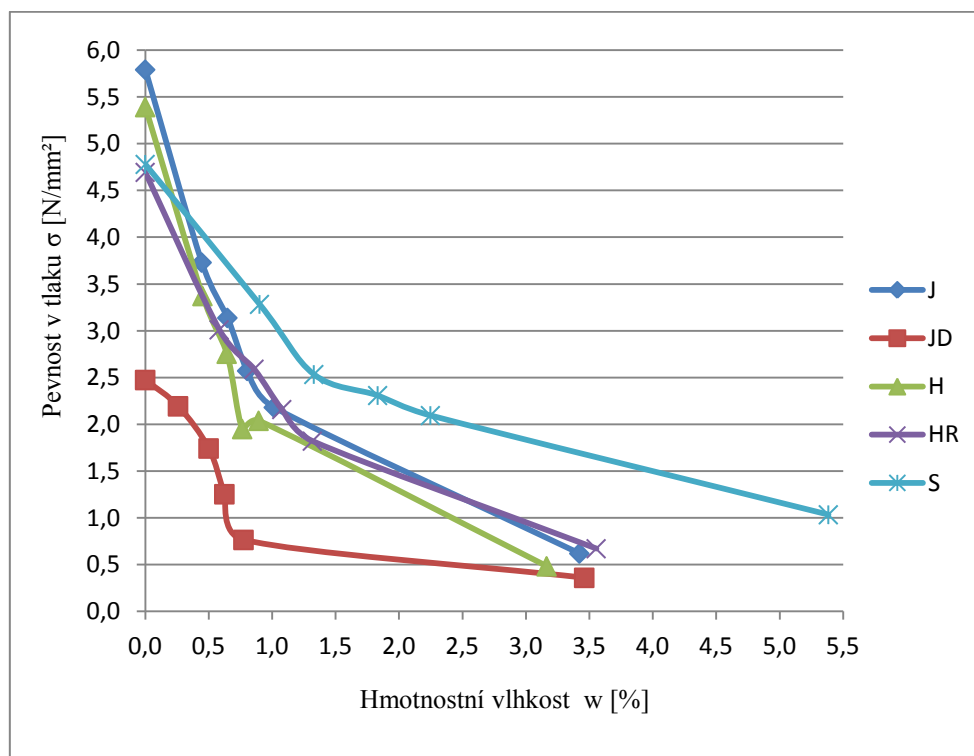
Veličiny	Druh omítky	KP0	KP1	KP2	KP3	KP4	KP5
w [%]	J	0,00	0,45	0,73	0,80	1,01	3,42
	JD	0,00	0,26	0,58	0,62	0,77	3,46
	H	0,00	0,45	0,70	0,76	0,89	3,16
	HR	0,00	0,58	0,95	1,08	1,32	3,55
	S	0,00	0,90	1,47	1,83	2,25	5,38
R_f [N/mm ²]	J	2,35	1,39	1,02	0,85	0,72	0,01
	JD	1,42	1,16	0,77	0,59	0,44	0,06
	H	2,06	1,21	0,90	0,62	0,59	0,01
	HR	1,87	1,23	0,96	0,78	0,65	0,11
	S	2,19	1,42	1,09	0,91	1,15	0,53
R_c [N/mm ²]	J	5,79	3,73	3,14	2,57	2,18	0,62
	JD	2,47	2,19	1,74	1,25	0,76	0,36
	H	5,39	3,37	2,75	1,95	2,04	0,48
	HR	4,69	3,01	2,59	2,16	1,82	0,67
	S	4,78	3,28	2,53	2,31	2,09	1,03

Z grafu vyjadřující závislost pevnosti v tahu za ohybu na vlhkosti vzorků (Graf č. 16) lze vidět, že pevnost vzorku u typu omítky (S) vykazuje v prostředí KP4 nečekaný skok. Toto nepředpokládané zvýšení pevnosti ve vlhčím prostředí pravděpodobně způsobeno větším zhutněním při výrobě trámečků.



Graf č. 16 Závislost hmotnostní vlhkosti vzorků na pevnosti v tahu za ohybu

U grafu vyjadřující závislost pevnosti v tlaku na vlhkosti vzorků (viz. Graf č. 17) je zaznamenán nepřepokládaný pokles křivky vzorku (H), který byl způsoben výrazně menší hodnotou pevnosti v tlaku u jedné z částí zkoušeného trámečku H2 (viz. Tab. č. 16), která ovlivnila zprůměrovanou hodnotu pevnosti v tlaku. Tato zkoušená část trámečku byla s nejvyšší pravděpodobností oslabena již při pevnosti v tahu za ohybu.



Graf č. 17 Závislost hmotnostní vlhkosti vzorků na pevnosti v tlaku

Tab. č. 16 Pevnosti v tlaku trámečků u typu omítky (H) zkoušené v prostředí KP3

Druhy omítek	R _{c1}	R _{c2}
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
H1	2,025	2,166
H2	1,976	1,694
H3	1,902	1,930

Jelikož druh jílového minerálu ovlivňuje hodnotu vlhkosti, proběhl i pokus určení druhu pojivého jílového minerálu na základě termické analýzy suchých maltových směsí. K tomuto hodnocení bylo využito přístroje SDT Q600, dodávaného firmou TA Instruments, který umožňuje simultánní kombinaci termogravimetrické analýzy a diferenční skenovací

kalorimetrie (TG/DSC). Měření probíhalo v oxidační atmosféře s nárůstem teploty 10°C/min do 1000°C.

Vzhledem k tomu, že nebylo možné rozdělit od sebe plně pojivo a plnivo, a navíc jsou jílové minerály obsaženy v maltách do 10%, nebylo možné určit druh jílového minerálu (viz. Příloha č. 4). U vzorků obsahujících organické příměsi lze v oblasti 300-500°C vidět exotermní reakce, což pravděpodobně odpovídá drobnému vyhoření organických příměsí na bázi celulózy a ligninu. Zajímavým jevem ale bylo to, že u vzorku jemné dekorativní omítky bylo prokázáno přibližně 80% CaCO_3 , na základě endotermní reakce kolem 800°. U všech ostatních vzorků je zjevný obsah křemene, který se transformuje při 573°C.

7 Závěr

Hliněné omítky se začaly opět používat na přelomu 20. a 21. století a to převážně pro jejich čistě přírodní složení a pozitivní vlastnosti jako je výborná regulace vlhkosti. Právě nárůst vlhkosti na vzorcích omítek byl zkoumán v různých klimatických prostředích (viz. Tab. č. 14).

U zkoušených klimatických prostředí KP0 až KP4 (viz. Tab. č. 14) dosahují zkoušené vzorky největšího nárůstu vlhkostí přibližně během jednoho dne, po této době se jejich vlhkost pomalu ustaluje až do konstantní hodnoty. V prostředí KP5 (viz. Tab. č. 14) byl vlivem technických problémů nárůst vlhkosti zkoušených vzorků nerovnoměrný (viz. Graf č. 12).

Z výše uvedených výsledků (viz. Tab. č. 15) lze vidět, že se zvyšující vlhkostí prostředí vzrůstá také vlhkost vzorků. Největších vlhkostí dosahovaly vzorky historické omítky (S), která se skládá pouze z hlíny a slámy. Na rozdíl od ostatních druhů omítek obsahující kromě hlíny a přísad také písek, jenž plní funkci plniva a zároveň omezuje vznik trhlin. Druhou nejvíce absorbující vlhkost má hrubá omítka s řezankou, jejíž zvýšenou navlhavost vytváří především sláma. Třetí a čtvrtou nejvíce nasákavou hliněnou směsí je jemná a hrubá omítka, které se liší pouze velikostí frakce obsaženého písku. Z těchto výsledků vyplývá, že čím více jsou hliněné směsi tvořené frakcemi písku menších velikostí, tím více absorbují vody (vlhkosti). Nejmenších hodnot nasákavosti dosahuje jemná dekorativní omítka, která by měla obsahovat méně nasákavé jíly (kaolinit).

U různě zvlhčených vzorků byly změřeny pevnosti v tahu za ohybu (viz. Graf č. 16) a pevnosti v tlaku (viz. Graf č. 17). Z dosažených výsledků se zjistilo, že pevnosti v tlaku jsou dvakrát až desetkrát větší než pevnosti v tahu za ohybu. Tento rozdíl hodnot závisí především na složení hliněné směsi a na vlhkostech zkoušených vzorků. Tímto měřením bylo potvrzeno, že pevnosti hliněných malt klesají se zvyšující se vlhkostí. Proto nejsou tyto malty vhodné pro venkovní použití, což dokazuje také zkouška trámečků sady B, při níž byly vzorky po 7 minutách ve vodě částečně rozmočeny (viz. Obr. č. 40).

8 Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tereze Murínové za její odborné vedení a cenné rady, které jsem využil při psaní bakalářské práce.

Mé poděkování patří majiteli firmy Picas Michalu Navrátilovi, který mně ukázal výrobu i použití hliněných omítek v praxi a v rámci stáže mi poskytnul materiály ke zkoušení.

Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům katedry Stavebních hmot a diagnostiky staveb za pomoc při provádění zkoušek a Laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů, projektu ICT CZ.1.05/2.1.00/03.0082 za umožnění bezplatného užívání klimakomory.

9 Seznam použitých zdrojů

Technické normy:

[1] ČSN 73 0540 – 3: Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin

[2] ČSN EN 998 – 1

[3] ČSN EN 1015 – 2: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt

[4] ČSN EN 1015 – 3: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)

[5] ČSN EN 1015 – 6: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty

[6] ČSN EN 1015 – 10: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty

[7] ČSN EN 1015 – 11: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

[8] ČSN EN 1015 – 19: Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky

[9] ČSN EN ISO 12570: Tepelně vlhkostní chování materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě

[10] ČSN EN ISO 12571: Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností

[11] ČSN EN ISO 14688-1: Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 1: Pojmenování a popis

[12] ČSN P 73 06: Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení

Literatura:

- [13] BALÍK, M. *Odvhlčování staveb*, Praha: Grada, 2008, ISBN 978-80-247-2693-9
- [14] BLAHA, M. *Omítky*, Praha: Grada 2004, ISBN 80-247-0898-1
- [15] DOMONE, P., ILLSTON, J. *Construction Materials: Their Nature and Behaviour, 4th Edition*, ISBN 0-203-92757-5 Master e-book ISBN
- [16] HUDEC, M. a kolektiv, *Pasivní domy z přírodních materiálů*, Praha Grada 2013, ISBN 978-80-247-4243-4
- [17] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*, Praha: Grada 2009, ISBN 978-80-247-2532-1
- [18] MÁRTON, J. a kolektiv, *Stavby ze slaměných balíků*, Liberec 2010, ISBN 978-80-254-6610-0
- [19] MINKE, G. *Příručka hliněného stavitelství*, Bratislava 2009, ISBN 978-80-969698-2-1
- [20] KOLEKTIV AUTORŮ *Zdraví a krása*, Praha: ČVUT 2008, ISBN 978-80-01-04012-6
- [21] SOLAŘ, J. *Odstaňování vlhkosti*, Praha: Grada 2013, ISBN 978-80-247-4708-8
- [22] SVOBODA, L. a kol., *Stavební hmoty*, Bratislava Jaga 2004, ISBN 80-8076-007-1
- [23] ŠKRABADA, J. *Konstrukce historických staveb*, nadační fond ARCUS Praha 2003, ISBN 80-7203-548-7
- [24] ŽABIČKOVÁ, I. *Hliněné stavby*, Brno 2002, ISBN 80-86517-18-7

Internetové adresy:

- [25] <http://www.hlina.info/cs.html>
- [26] <http://www.hlinenydum.cz/fotogalerie/reference-rekonstrukce/>
- [27] www.picas.cz
- [28] Raising the veil with Boaz Rottem: China through my lens. [online]. 22.březen.2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://blog.chinatravel.net/photography/raising-the-veil-with-boaz-rottem.html>

[29] Výpisky: Building with Earth & Building Without Borders – Sustainable Construction For the Global Village: Gernot Minke – Building with Earth. [online]. 19.březen.2010 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: Raising the veil with Boaz Rottem: China through my lens. In: [online]. 22.březen.2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://blog.chinatravel.net/photography/raising-the-veil-with-boaz-rottem.html> y/raising-the-veil-with-boaz-rottem.html

[30] Zádušní chrám Ramesse II. [online]. 2003 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/1mbkg/egypt2003/ramesse2/index.htm>

10 Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Výsledné hodnoty vlhkosti, pevností a objemových hmotností všech vzorků

Příloha č. 2 Vyrůstající vlhkost vzorků sady (B, C, D) v čase

Příloha č. 3 Vyrůstající vlhkost vzorků sady (E, F, H) v čase

Příloha č. 4 Výsledné grafy termické analýzy zkoušených omítek